

APLICACIONES DE ECOLOGÍA INDUSTRIAL EN LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS PELIGROSOS

TRABAJO FINAL DE MÁSTER
Máster Universitario en Sostenibilidad

Presentado por:
María Isabel Agudelo Guinand

Dirigido por:
Joan de Pablo Ribas

Barcelona - España, Diciembre de 2013



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

**Institut Universitari de Recerca en Ciència
i Tecnologies de la Sostenibilitat**

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	Pág. 5
Abstract.....	Pág. 6
1. Introducción.....	Pág. 7
Objetivos.....	Pág. 8
2. Definiciones	Pág. 8
2.1 Residuos Peligroso	Pág. 8
2.2 Gestión Integral de residuos peligrosos	Pág. 8
2.3 Aprovechamiento y/o valorización	Pág. 8
2.4 Tratamiento	Pág. 9
2.5 Ecología Industrial	Pág. 9
2.6 Ecoparque / Parque Eco Industrial	Pág. 11
3. Marco Legal	Pág. 12
4. Antecedentes	Pág. 13
4.1 Situación de RESPEL en Colombia	Pág. 13
4.2 Residuos Peligrosos en el Valle del Cauca	Pág. 16
4.3 Ecología Industrial en la gestión de residuos	Pág. 17
4.4 Ecoparques o Parques Ecoindustriales en Colombia	Pág. 17
5. Metodología	Pág. 19
5.1 Metabolismo Industrial	Pág. 19
5.2 Diagnostico inicial de la empresa	Pág. 20
5.3 Desarrollar escenarios para mejorar el rendimiento.....	Pág. 20
5.4 Análisis Beneficio/Costo	Pág. 20
6. Resultados	Pág. 21
6.1 Diagnostico Inicial	Pág. 21
6.1.1 Presentación de la empresa RH SAS	Pág. 21
6.2 Metabolismo Industrial	Pág. 28
6.2.1 Mapa de flujo de materiales y energía	Pág. 28
6.2.2 Analizar relaciones criticas	Pág. 33
6.2.3 Resultados del diagnostico	Pág. 35
6.3 Escenario propuestos	Pág. 36
6.3.1 Recuperación de Solventes	Pág. 36
6.3.2 Recuperación de mercurio en lámparas y otros	Pág. 40
6.3.3 Recuperación de pilas y baterías	Pág. 43
6.3.4 Recuperación Aceites Usados	Pág. 47
6.3.5 Valorización de llantas y neumáticos	Pág. 52
6.3.6 Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos – RAEE	Pág. 56
6.3.7 Valorización de Residuos comunes /orgánicos CDR	Pág. 62
6.4. Resultado final	Pág. 67
6.5 Análisis de Beneficio/Costo	Pág. 72
7. Discusión	Pág. 74
8. Conclusiones	Pág. 75
9. Bibliografía	Pág. 76
10. Anexos	Pág. 79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Operación de los elementos de El según los diferentes niveles	Pág. 10
Figura 2. Generación de residuos peligrosos en Colombia en el período 2009 a 2011	Pág. 14
Figura 3. Manejo de residuos peligrosos en Colombia en los años 2009 a 2011	Pág. 15
Figura 4. Cantidades de residuos peligrosos por operaciones de tratamiento en 2011	Pág. 16
Figura 5. Localización RH SAS	Pág. 21
Figura 6. Tratamiento de Incineración RH SAS	Pág. 23
Figura 7. Tratamiento de Esterilización RH SAS	Pág. 23
Figura 8. Composición de residuos promedios recibidos en RH SAS	Pág. 24
Figura 9. Recepción de RESPEL en planta 2012	Pág. 25
Figura 10. Diagrama de Flujo – Área operativa	Pág. 28
Figura 11. Flujo de residuos <u>actual</u> de RH SAS	Pág. 30
Figura 12. Esquema de proceso de destilación simple por lotes	Pág. 37
Figura 13. Esquema general del proceso de recuperación de solventes	Pág. 38
Figura 14. Recuperación de mercurio (Hg)	Pág. 42
Figura 15. Clasificación de pilas	Pág. 44
Figura 16. Proceso hidrometalurgico de reciclado de pilas salinas y alcalinas	Pág. 46
Figura 17. Tipos de Aceites Usados	Pág. 47
Figura 18. Esquema de valorización de aceites usados	Pág. 50
Figura 19. Valorización de llantas usadas	Pág. 55
Figura 20. Esquema General de una planta de reciclaje de equipos electrónicos	Pág. 61
Figura 21. Generación de CDR	Pág. 66
Figura 22. Flujo de residuos propuesto	Pág. 68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Residuos Industriales “Respel” recibido en el año 2012	Pág. 26
Tabla 2. Porcentaje de residuos Respel según, tratamiento (en planta y en terceros).	Pág. 27
Tabla 3. Inventario de entradas y salidos por procesos/tratamiento	Pág. 29
Tabla 4. Costos de energía, agua y gas anuales RH SAS	Pág. 30
Tabla 5. Consumos energéticos y costos por tratamiento	Pág. 31
Tabla 6. Emisiones asociados al consumo energético por tratamiento	Pág. 32
Tabla 7. Costos anuales de disposición final	Pág. 33
Tabla 8. Resumen de costos energéticos y de disposición final por tonelada de residuo .	Pág. 34
Tabla 9. Recuperación de Solventes	Pág. 38
Tabla 10. Recuperación de Mercurio en lamparas	Pág. 42
Tabla 11. Composición de las baterías	Pág. 45
Tabla 12. Composición media de un aceite lubricante	Pág. 47
Tabla 13. Valorización de aceites RH SAS	Pág. 50
Tabla 14. Composición media de llantas	Pág. 52
Tabla 15. Valorización de llantas Usadas	Pág. 54
Tabla 16. Recuperación de RAEE	Pág. 60
Tabla 17. Determinación de la humedad para residuos biomédicos	Pág. 63
Tabla 18. Generación de CDR a partir de residuos biomédicos	Pág. 64
Tabla 19. Generación de CDR a partir de residuo común/orgánico seco	Pág. 64
Tabla 20. Poder Calorífico de los residuos	Pág. 65
Tabla 21. Valorización Total de Respel propuestas	Pág. 67
Tabla 22. Ahorro en COP del consumo energético	Pág. 69
Tabla 23. Emisiones de CO2 eq evitadas por tipo de tratamiento	Pág. 70
Tabla 24. Costos de disposición final evitados	Pág. 71
Tabla 25. Subproductos generados en la valorización de residuos	Pág. 71

RESUMEN

Se realiza una revisión tanto de las herramientas y conceptos de ecología industrial, como de la gestión actual de residuos peligrosos, para ser aplicados en un caso específico en Colombia: RH SAS una empresa de gestión de residuos peligrosos, que por su posición en el mercado, su significativa tasa de crecimiento anual y su interés en mejorar su desempeño ambiental, tiene un gran potencial para liderar el proyecto de Ecoparque de residuos peligrosos, entendido este como un centro de reciclaje, aprovechamiento y valorización de residuos.

Se utiliza la metodología de metabolismo industrial y tres indicadores seleccionados: *Costo energético por tratamiento*, *Costo de disposición final* y *Cantidad de emisiones de GEI por tratamiento*, para identificar los puntos críticos y de mayor impacto, donde finalmente se seleccionan 7 tipos de residuos para buscar alternativas de valorización: **Solventes contaminados, Residuos mercuriales, pilas y baterías, Aceites usados, llantas usadas, RAEE y residuos esterilizados y/o comunes.**

A partir de una revisión de las opciones de valoración utilizadas en Europa, en el catálogo europeo de residuos, las best available techniques (IPPC), entre otras, se definen 7 propuestas diferentes para cada uno de los residuos más críticos. Los resultados muestran que un proyecto de este tipo podría valorizar hasta el 80,7% del total de los residuos recibidos en RH SAS.

Se demuestra un ahorro en costos energéticos de tratamiento y de disposición final, con una consecuente reducción de las emisiones de GEI, al recuperar los materiales y evitar los tratamientos de final de tubo como incineración, esterilización y/o destrucción de residuos.

El alcance de este trabajo, se limita a una propuesta de valorización y una evaluación de los beneficios y costos ahorrados, sin embargo un presupuesto más concreto sobre la tecnología a implementarse debe ser evaluado con mayor detalle una vez se determine la tecnología a adquirir.

Este proyecto es realizado a nivel firma, y es una primera etapa que permite a la empresa convertirse en líder y pionera en este tema. Sin embargo la visión que se plantea a futuro incluye la integración de nuevas empresas en una simbiosis de materiales, y energía, un proyecto que se enmarca dentro de las directrices del desarrollo sostenible que busca el país.

Palabras Clave: *Ecología Industrial, Residuos Peligrosos, Valoración de residuos, Eco parque*

ABSTRACT

A review of both, tools and concepts of industrial ecology, and the current hazardous waste management is carried out, to be applied in a specific case in Colombia: RH SAS company dedicated to management of hazardous waste, which by its position in the market, its significant annual growth and interest in improving their environmental performance, has the potential to lead the project of Ecoparque of hazardous waste. Understood this as a recycling center, use and recovery of waste.

Methodology of industrial metabolism and three selected indicators is used to identify critical points of greatest impact: *Energy cost per treatment, disposal cost and quantity of GHG emitted*. Finally 7 types of waste are selected to seek alternative recovery: **Solvents contaminated, mercury waste , batteries, waste oils , used tires , WEEE and sterilized and / or common waste.**

From a review of the methods of valorization used in Europe, in the European Waste Catalogue, the best available techniques (IPPC), among others, 7 different alternatives of valorization are defined for each of the most critical residues. A project of this type could valorize to 80.7 % of the waste received at RH SAS.

The results show some savings in energy costs for treatment and disposal, with a consequent reduction of GHG emissions by recovering materials and prevent pipe end treatments, incineration, sterilization and / or destruction of waste.

The scope of this paper, leads to the valorization alternatives proposal and a review of the benefits and cost savings, however a specific budget for the technology to be implemented should be evaluated in more detail when te company determine which technology acquire.

This project is a first step made at a firm level that allows the company to become a leader and pioneer in this topic. However the future vision includes integration of new businesses in a symbiosis of materials and energy, this is a project that fits within the guidelines of sustainable development that seeks the country.

Key words: *Industrial Ecology, Hazardous Waste, Waste valorization, Eco Park*

1. Introducción

En Colombia, todavía es nuevo el concepto de Ecología Industrial, durante la última década las Corporaciones Regionales encargadas del tema de Gestión Ambiental y el Centro Nacional de producción más limpia y tecnologías ambientales, han promocionado conceptos como producción más limpia en las industrias y prevención de la contaminación, pero son muy pocos los avances que se hacen más allá de esta figura.

La figura de Ecoparque, no es muy reconocida en el país, ni para tratamiento de residuos municipales ni para tratamiento de residuos peligrosos, pero es una figura que para el caso del tratamiento de residuos, permite aplicar la visión de ecología industrial, para hacer los procesos más eficientes, y disminuir impactos ambientales en la gestión y disposición final de estos.

La empresa RH SAS es una empresa con un alto potencial de convertirse en un ecoparque de residuos peligrosos, considerando el ecoparque como un centro para valorización y gestión de residuos y no solo una planta de tratamiento. Esto, por su alto compromiso con el medio ambiente dentro de su misión y su política de trabajo, su disposición para invertir en tecnología, su gran reconocimiento en el campo de gestión de residuos y su ubicación estratégica en la zona industrial, lo que permitiría más adelante pensar en un proyecto de parque eco industrial (PEI) integrando a las otras industrias del sector.

El área fuerte de esta empresa es el tratamiento de los residuos peligrosos (incineración y actualmente esterilización), por lo que los conceptos de valorización y reciclaje son muy débiles todavía. Actualmente se tiene planificado una reforma en los procesos y ampliación de la capacidad de tratamiento, y nuevos proyectos, como incursionar en el tratamiento de residuos orgánicos, consultoría ambiental e incursionar en nuevas tecnologías lo que hace este un momento óptimo para presentar esta propuesta.

El poder fortalecer a la empresa en estos aspectos, es un primer paso en el fortalecimiento de la ecología industrial en el sector, también se espera ser ejemplo para las otras industrias de la zona y llamar a la integración de un proyecto como el Parque Eco industrial, los cuales actualmente están siendo promovidos como una forma de fomentar el desarrollo sostenible ya que sus defensores sostienen que el funcionamiento por simbiosis de las empresas producen más beneficios ambientales que cada empresa por sí sola. Numerosos de estos proyectos de Parques eco industriales, se han promovido en el Norte y Sur América, el sudeste de Asia, Europa y África del sur con óptimos resultados¹.

¹ Lowe, E. et al., Discovering Industrial Ecology. 1997

Objetivo General

Aplicar lineamientos de Ecología Industrial para convertir una empresa gestora de residuos peligrosos, en un eco parque de residuos peligrosos e Industriales, Caso de estudio Yumbo – Colombia.

Objetivos específicos

Generar propuestas de mejora de los procesos actuales e implementación de nuevos procesos para ampliar la capacidad de tratamiento y la variedad tipos de residuos a recibir.

Generar propuestas de valorización y reciclaje de residuos peligrosos que aumenten la tasa de valorización de residuos significativamente

Reducir la cantidad de residuos llevados a disposición final sin reciclar y/o valorizar, asegurando su mejor gestión y minimizando por consiguiente los impactos ambientales derivados.

2. Definiciones

2.1 Residuo Peligroso: Es aquel residuo o desecho que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas, puede causar riesgos, daños o efectos no deseados, directos e indirectos, a la salud humana y el ambiente. Así mismo, se considerará residuo peligroso los empaques, envases y embalajes que estuvieron en contacto con ellos.²

2.2 Gestión Integral de residuos peligrosos: Conjunto articulado e interrelacionado de acciones de política, normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, ce la figura de Ecoparque sociales, educativas, de evaluación, seguimiento y monitoreo desde la prevención de la generación hasta la disposición final de los residuos o desechos peligrosos, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.³

2.3 Aprovechamiento y/o Valorización: Es el proceso de recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos o desechos peligrosos, por medio de la recuperación, el reciclado o la regeneración.⁴

² Decreto – Ley 4741 de 2005.

³ Ibid.

⁴ Ibid.

2.4 Tratamiento: Es el conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos o desechos peligrosos, teniendo en cuenta el riesgo y grado de peligrosidad de los mismos, para incrementar sus posibilidades de aprovechamiento y/o valorización ó para minimizar los riesgos para la salud humana y el ambiente.⁵

2.5 Ecología Industrial

La ecología industrial (EI) es un área multidisciplinaria que quiere asimilar el funcionamiento de los sistemas industriales a el de los ecosistemas naturales e implica una interrelación de industrias (a nivel de flujos de materia, energía e información) y una relación sostenible con el entorno natural y social que rodea el sistema industrial.⁶

Esta relación entre industrias tiene, como uno de sus objetivos, optimizar el flujo de los recursos, tendiendo a cerrar el ciclo de materia y, por lo tanto, a obtener un nivel cero de residuos. Esto lo consigue en parte usando los residuos de una industria como materia prima de otras, como pasa en los ecosistemas naturales.⁷

Aplicando conceptos de Ecología en la Industria

Principio 1. En los sistemas naturales, no existe tal cosa como “residuo” , en el sentido de que no pueda ser absorbido constructivamente en otro lugar del sistema.

Principio 2. toxinas concentradas no se almacenan o transportan a granel a nivel del sistema, pero se sintetizan y se usan según sea necesario sólo por individuos especies

Principio 3. Cada miembro del ecosistema realiza múltiples funciones así como se interrelaciona con otros miembros

Principio 4. La capacidad de carga limita el grado en el que la población puede crecer⁸

La EI opera en tres niveles: a nivel de empresa o unidad de proceso (se pueden conseguir grandes ahorros operacionales), a nivel interempresarial, distrito o sector y (con la creación de parques ecoindustriales), finalmente, a nivel regional, nacional o global (creando un sistema de parques ecoindustriales en red NEIPS):⁹

5 Ibid.

6 Cervantes, G. Ecología Industrial. 2007

7 Cervantes, G. Industrial Ecology. 2012

8 Lowe, EA et al. Discovering Industrial Ecology. 1997.

9 Roberts, B. The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: An austrian case study. 2004

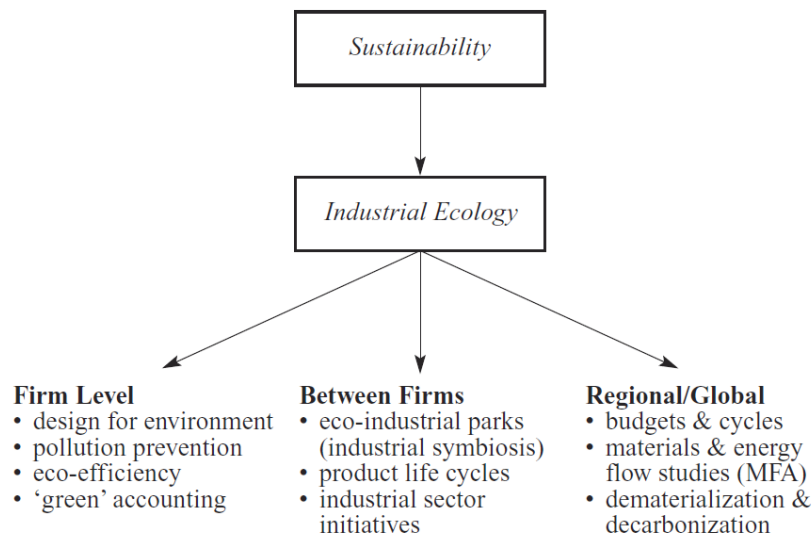


Figura 1. Operación de los elementos de EI según los diferentes niveles
Fuente: Lowe et. al. 1997

Generalmente la aplicabilidad de la ecología industrial, se ve reflejada en los Parques Ecoindustriales, muy diferentes a los ecoparques (una sola instalación) o los parques industriales (conjunto de instalaciones sin ninguna interacción entre sí), ya que no solo es una empresa o varias empresas con practicas de cuidado del medio ambiente y/o optimización de recursos, sino que son un conjunto de empresas que funcionan como un sistema, con relaciones de simbiosis entre una y otra, compartiendo flujos ya sea de energía, agua, o materia.

Sin embargo, para empezar un proyecto de Parque Ecoindustrial (PEI) es necesario que sea una empresa o ecoparque la que lidere el proyecto¹⁰, y que esta empresa tenga previamente practicas de optimización de recursos y de cuidado del medio ambiente que se puedan extender hacia el resto de empresas.

Es decir, aplicar la Ecología Industrial a nivel firma, lo que puede lograr importantes ahorros operativos, reciclando el agua, co-generando vapor y electricidad, utilizando las emisiones de gas industriales y material de reprocesar los residuos y productos. En muchos casos, estas medidas pueden ser parciales, pero pueden ayudar a suplir demandas de recursos energéticos, de materias primas y reducir los costos y los niveles totales de residuos.¹¹

¹⁰ Lowe, E. et al., Discovering Industrial Ecology. 1997

¹¹ Roberts, B. The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: An austrailan case study. 2004

2.6 Ecoparque

Un Ecoparque, se define como una instalación de reciclaje, clasificación y valorización de residuos¹². En España se conocen los ecoparques que tratan los residuos municipales, cuentan con un equipamiento que permite obtener energía y abono a partir de la fracción orgánica de los residuos municipales que incluye dos líneas de tratamiento:

a) Tratamiento de la fracción orgánica procedente de la recogida selectiva, con el objetivo de valorizar la materia orgánica para obtener compost de calidad.

b) Tratamiento de la fracción resto, que incluye valorización de materia orgánica para producir biogas o energía, separación de materiales susceptibles a ser reciclados (Vidrio, metales, plásticos, etc.) y mejorar las características de los desperdicios antes de su disposición final.

El concepto Ecoparque, muy utilizado en España para este tipo de instalaciones, no se ha extendido en países como Colombia y tampoco hacia otro tipo de residuos como los peligrosos que también pueden ser tratados, reciclados, clasificados y valorizados.

Son tres puntos los que se deben tener en cuenta en la definición del objetivo de un parque industrial, tanto en su conjunto como para cada una de las empresas en él. Esto, según el marco de la ecología industrial¹³:

“The fieldbook for development of eco-industrial parks” da un marco basado en la ecología industrial para la definición del objetivo de un parque industrial en su conjunto y para cada empresa en él.

A. Optimizar la utilización de recursos dentro del proceso industrial

- Energía
- Agua
- Materiales

B. Minimizar salidas del proceso Industrial

- Vertimientos
- Emisiones
- Residuos sólidos

C. Armonizar interacciones del proceso industrial y comunicados con el sistema natural.

¹² Agencia de residus de Catalunya, 2013

¹³ Lowe, E et al. 1996

3. Marco Legal

En Colombia, en materia de Gestión de residuos de interés para el proyecto: Residuos Peligrosos, hospitalarios y similares, existe la siguiente legislación vigente:

Decreto 4741 de 2005 “Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral”. En este decreto se especifican las responsabilidades del generador del residuo , del receptor o gestor y se aclara que en el caso de los residuos hospitalarios, se rigen por las normas vigentes específicas sobre la materia o aquellas que las modifiquen o sustituyan, salvo las disposiciones que sean contrarias a las establecidas en el presente decreto.

Los objetivos específicos de esta Política son: 1) Prevenir y minimizar la generación de Respel; 2) Promover la gestión y manejo ambientalmente seguro de Respel y 3) Implementar los compromisos de los Convenios Internacionales ratificados por el país, relacionados con sustancias y residuos peligrosos.

Decreto 2676 de 2000 “por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares”.

Además Colombia cuenta con una Política específica “ **Política Nacional para la gestión integral de residuos peligrosos**”, Es importante resaltar que los lineamientos que la orientan, están en concordancia con las directrices planteadas por el Protocolo de Montreal para la disposición de las sustancias agotadoras de la capa de ozono. Estos lineamientos son:

- Prevención y minimización de la generación en el origen: Corresponde a la optimización del consumo de materias primas, la sustitución de insumos peligrosos y la adopción de tecnologías más limpias.
- Aprovechamiento y valorización: Orientado a la recuperación, reciclaje y reutilización de Respel, lo cual permite reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, alargar la vida útil de los sitios de disposición final, reducir la contaminación ambiental y reincorporar las materias primas al ciclo económico.
- Tratamiento y transformación: Tiene como objetivos principales separar y concentrar los residuos con el fin de recuperar materias primas y reducir la cantidad, volumen y peligrosidad, como actividad previa a una disposición final.
- Disposición final: A pesar de los procedimientos anteriores, existirá una fracción de Respel que debe ser dispuesta de una manera ambientalmente adecuada y controlada, particularmente aquellos que no sean aprovechables.

4. Antecedentes

4.1 Situación de Respel en Colombia

En el año 2005, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial presentó la política nacional para la gestión integral de los residuos peligrosos. En esta política se analizan las principales problemáticas de los Respel en Colombia, dentro de las que se destacan¹⁴:

- El manejo se orienta más hacia el tratamiento y la disposición final, más que a la prevención y al aprovechamiento
- Se cuenta con una oferta limitada de empresas autorizadas que brindan servicios para el manejo de Respel.
- El desconocimiento sobre el tema de Respel por parte de los generadores, se refleja en la falta de compromiso en el tema, y la gestión nula o no planificada.
- La información y normativa sobre el tema se encuentra dispersa y no existen reglamentos técnicos especializados en la materia para la clasificación, identificación, caracterización y manejo adecuado de los Respel.

La política a nivel general prioriza las medidas de prevención adoptando métodos de producción más limpia, pero dado que no es posible eliminar totalmente la generación de Respel, se privilegia la gestión de los mismos orientada en lo posible al reciclaje, recuperación o aprovechamiento.

Estableciendo que los tratamientos de los Respel debe permitir la reducción de su volumen y/o peligrosidad, mediante la aplicación a un costo razonable de las mejores técnicas disponibles y las mejores practicas ambientales y la disposición final de los Respel debe, en la medida de lo posible, limitarse a aquellos que no sean aprovechables o cuyo reciclado por el momento no sea económico o técnicamente factible.

Además se resalta la responsabilidad de las autoridades para incentivar estas practicas de minimización y valorización del Respel, lo que hace de este proyecto, viable dentro del marco de la política con estrategias específicas como:

- Prevención de la generación Respel a través de la implementación de estrategias de producción más limpia
- Reducción de la generación de Respel en la fuente, mediante los Planes de Gestión Integral de Respel
- Promoción del aprovechamiento y valorización de Respel
- Gestión de Respel derivados del consumo masivo de productos con características peligrosas
- Promoción del tratamiento y disposición final del Respel de manera ambientalmente segura

14 Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. 2005

El desafío más grande que tiene esta política, es desarrollar esquemas que, al mismo tiempo que resuelven los graves problemas que conllevan la generación y el manejo inadecuado de los residuos peligrosos, atiendan la necesidad que tiene el país de un desarrollo sostenible, incluyente y equitativo, que reduzca los niveles de pobreza, que fomente la creación de fuentes de ingresos y de empleos, que eleve la competitividad de los sectores y que mejore el desempeño ambiental de todos los actores y sectores sociales que generan y manejan residuos peligrosos.

En el año 2011, el IDEAM (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales) presenta el informe sobre los resultados obtenidos con el Registro de generadores de Respel, de obligatoria declaración por parte de los generadores de Respel, donde se muestran las estadísticas sobre la generación y manejo de los residuos peligrosos en el país.

Como se puede ver en la figura 2. Para el año 2011 la generación de residuos peligrosos fue de 174.419 toneladas, cifra superior a las 141.735 toneladas generadas en 2010. Incremento que puede deberse al crecimiento en el crecimiento de la economía en Colombia en 2011 respecto a 2010 (5,9%), así como al aumento en la cantidad de declaraciones Respel, en el IDEAM, exigidas por las autoridades ambientales.¹⁵



Figura 2. Generación de residuos peligrosos en Colombia en el período 2009 a 2011

Fuente: Ideam. 2011

De esta cantidad de Respel generada, fueron manejadas en el país un total de 157.663 toneladas, de las cuales el 21,1% (33.345 toneladas) fueron aprovechadas y/o valorizadas, el 43,2% (68.087 toneladas) fueron tratadas y el 35,7% (56.231) fueron llevadas a disposición final. A 31 de Diciembre de 2011 se encontraban en almacenamiento un total de 42.031,9 toneladas que no habían sido gestionadas.

Aunque la Política prima la minimización y el aprovechamiento, se muestra en la Figura 3 que el tratamiento de Respel, particularmente la incineración, continua siendo la forma de manejo más utilizada por los generadores de Respel; y el aprovechamiento y la valorización solo

¹⁵ IDEAM. Informe Nacional Generación y Manejo de residuos peligrosos en Colombia. 2011

aumento del 2010 al 2011 en 651, 6 Ton. También resaltar el aumento de en la disposición final que ha aumentado considerablemente desde el 2009(25,2%) al 2011 (35,7%).

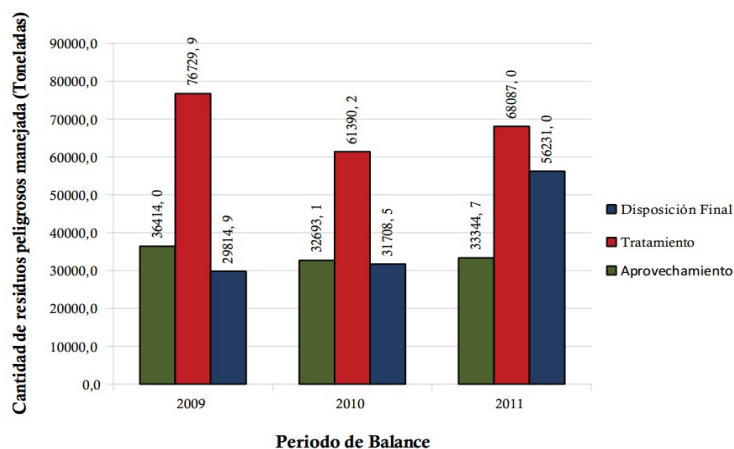


Figura 3. Manejo de residuos o desechos peligrosos en Colombia en los años 2009 a 2011

Fuente: Ideam. 2011

Aprovechamiento y valorización

Por último, considerar las corrientes de residuos y las formas de aprovechamiento y valorización mas utilizadas en el país. En el 2011 se aprovecharon 33.345 Ton de Respel, de las cuales la corriente que más presentó aprovechamiento es la mezcla y emulsiones de agua e hidrocarburos o aceites y agua, acorde con la corriente de residuos más generada ese mismo año (47%), luego la corriente de envases y contenedores de desechos que contienen sustancias incluidas en el Anexo I del Decreto 4741 de 2005, los desechos de Plomo y sus compuestos, desechos que contienen compuestos orgánicos de fósforo, de desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de disolventes orgánicos, desechos consistentes o que contienen productos químicos que no responden a las especificaciones o caducados correspondientes a las categorías del anexo I, líquidos de desechos del decapaje de metales y de acumuladores de plomo de desecho, enteros o triturados.

Tratamiento

De manera general las empresas autorizadas en el país para el manejo de los residuos o desechos peligrosos realizan principalmente, entre otras operaciones, la recuperación de solventes, la regeneración de aceites usados y de hidrocarburos, el almacenamiento y despiece de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), la recuperación de metales de residuos líquidos y sólidos, el tratamiento y aprovechamiento de plásticos contaminados, el tratamiento de residuos contaminados con hidrocarburos, el tratamiento de residuos infecciosos, el aprovechamiento de baterías plomo-ácido y el confinamiento de residuos líquidos y sólidos.

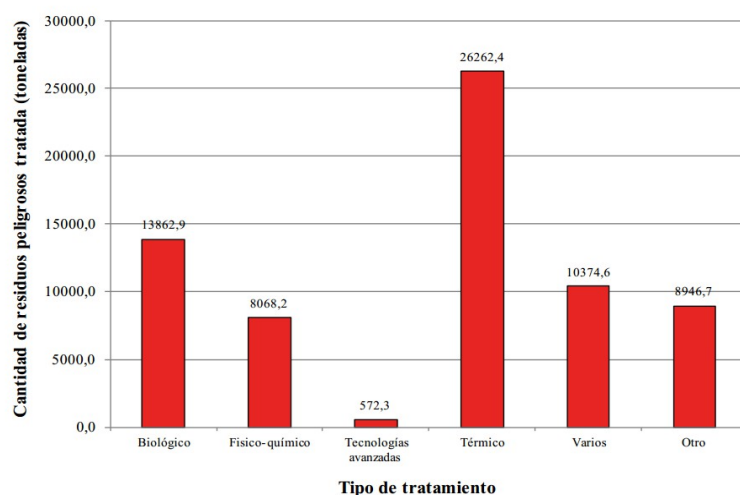


Figura 4. Cantidades de residuos peligrosos por operaciones de tratamiento en 2011

Fuente: Ideam. 2011

4.2 Residuos sólidos y peligrosos en el Valle del Cauca

De acuerdo con el informe de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) en el 2002, el manejo de los residuos sólidos es uno de los problemas ambientales más relevantes y complejos en el Departamento del Valle del Cauca. Los residuos sólidos que se generan son de tipo: domiciliarios, industriales, hospitalarios, escombros y lodos generados por las plantas de acueductos, alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales, industriales y municipales. Y la generación de Respel en el departamento es alta al ser uno de los corredores industriales más importantes del país.

De los residuos industriales que se generan en el departamento, el 42% son Respel que equivalen a 5.159 Ton/año¹⁶, los residuos inertes equivalen al 52% y orgánicos el 6%, originados principalmente en los sectores químico-farmacéutico y metalmecánico. Los residuos son en su mayoría inorgánicos: álcalis 48%, ácidos 6%, lodos y otros inorgánicos 24%; Aceites y waipes 8% y otros el 6%. Estos residuos se generan en los municipios de Cali con el 57%, Yumbo el 30%, Palmira el 9% y otros municipios el 4%.

Para el año 2013, la cantidad de Respel generada en el departamento se calcula que es del 3.400 Ton/año, y que actualmente existen 229 empresas generadoras y receptoras de Respel en el Departamento.¹⁷

El plan de gestión ambiental – regional 2002 – 2012, plantea la construcción de plantas de manejo integral de residuos sólidos y establecimiento de rellenos sanitarios regionales, para la vertiente del pacífico, en el 2013 ya se aprobó la licencia ambiental para la construcción de la primera celda de seguridad para la región.¹⁸

4.3 Ecología Industrial en la gestión de residuos

¹⁶ Ibid. 2011

¹⁷ Diario ADN. Relleno para Residuos Peligrosos Valle del Cauca. 2013.

Como se explico anteriormente, la ecología industrial es el marco de referencia, de donde se pueden utilizar diferentes métodos y herramientas, específicamente en la gestión de residuos industriales y/o peligrosos se han encontrado algunas experiencias en donde estos residuos se reutilizan o se valorizan dentro del mismo proceso industrial, es decir con practicas de producción más limpia que implementa el mismo generador.

Algunas de estas experiencias son:

- **Recuperación de Zinc en proceso de galvanizado:** el procedimiento, incluye sumergir la superficie de acero en baños de zinc fundido, lo que involucra grandes cantidades de materiales caros, y muy contaminantes desechos peligrosos. Las tecnologías de producción más limpia incluyen: (a) de calentamiento por inducción para fundir el zinc, (b) campo electromagnético para controlar la distribución de zinc fundido, y (c) control del proceso con un sistema computacional. Las ventajas incluyen la eliminación del residuo de cromado, menor cantidad de zinc utilizada, mejor control del proceso de la calidad y espesor del revestimiento de zinc, la reducción de los requisitos de mano de obra, un mantenimiento reducido, y las condiciones de trabajo más seguras. Con las tecnologías de producción más limpia en el lugar, el costo de capital se redujo en dos tercios en comparación con el proceso de recubrimiento por inmersión tradicional. El periodo de recuperación era de tres años para sustituir las instalaciones de plantas existentes¹⁹.
- En el sector de la fabricación de cemento y derivados. Se ha realizado una **utilización de combustibles derivados de residuos como fuente de energía suplementaria**. La recuperación de energía del horno de cemento es un proceso ideal para la gestión de determinados residuos peligrosos orgánicos. En este caso particular se ha utilizado entre el 10 y el 20% de los residuos peligrosos como combustible suplementario en el cemento.

Sobre experiencias en la gestión externa, no se ha encontrado nada, sin embargo se pueden considerar algunas de estas tecnologías empleadas.

4.4 Parques Eco-industriales – Ecoparque (Colombia)

En Colombia el concepto de Parque Industrial Ecoeficiente surge de los lineamientos establecidos en la agenda de trabajo conjunta entre instituciones y gremios para el apoyo a la gestión ambiental en Bogotá, así como el programa de Producción más limpia que empuja actualmente el DAMA (Secretaria Distrital de ambiente en Bogotá).

El proceso de organización industrial en Colombia se inició en los años 1950 cuando el Decreto 384, promovió la conformación de Urbanizaciones Industriales que luego se convertiría en Parques Industriales, con beneficios tributarios a partir del Decreto 2143 de 1979.

18 CVC. Plan de Gestión Ambiental Regional 2002–2012

19 Wang, Lawrence K. Y Aulenbach, Donald B. Implementation of Industrial Ecology for Industrial Hazardous Waste Management. 2004.

Para el año de 1996 con el Decreto 2233 se comienza a hablar de Zonas Francas como un estímulo al proceso que se presentaba de industrialización; y en el año 1997, surge el Concepto de Parque Industrial Ecoeficiente para agremiar los sectores productivos.

En el año 2000, el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá, en el Decreto 619, Artículo 316 al 318, establece la promoción e implementación de tres Parques Industriales Ecoeficientes en la ciudad: Puente Aranda, San Benito y Meandro del Say, en el cual nombra al DAMA como gestor y promotor de los mismos²⁰.

Cada una de estas áreas presenta características específicas:

- Puente Aranda: Desarrollo Industrial avanzado y multi-sectorial.
- San Benito: Sector Manufacturero.
- Meandro del Say: Existen espacios donde se podría hacer planificación.
- Parque Industrial Ecoeficiente de artes gráficas: impulsado por el Dama en 2003

y en el año 2003, con el decreto 389, la Alcaldía de Bogotá, crea la legislación específica “Por la cual se adopta el programa de parques Industriales Ecoeficientes del Distrito Capital” los El objetivo de estos parques es implementar un esquema competitivo de asociación para el sector productivo y de servicios, acorde con el Plan de Ordenamiento Territorial para Bogotá basado en los conceptos de Desarrollo Sostenible y Ecoeficiencia, por lo tanto era necesaria la combinación tanto de las iniciativas de ecoeficiencia dentro de la empresa como los arreglos territoriales del sector publico. De igual forma, se espera que el programa continúe orientando hacia la transformación de la ciudad, como un ecosistema urbano sostenible, bajo el liderazgo del DAMA.²¹

Sin embargo ninguna en el Departamento del Valle del Cauca (Cali) donde se propone el proyecto y ninguna tiene como su actividad económica principal la gestión de residuos, sin embargo ya se ve un marco de referencia nacional para impulsar este tipo de proyectos.

Cabe resaltar que la empresa RH SAS, empresa líder del proyecto, es una empresa reconocida en el sector, se caracteriza por su compromiso en la gestión ambiental integral, y tienen un gran interés en ser cada vez más ecoeficientes, lo que la hace una buena postulante para aplicar los conceptos de ecología industrial.

Además se encuentra ubicada en la zona industrial de Acopi- Yumbo, con numerosos tipos de industrias al rededor, en donde se puede pensar a largo plazo, expandir estas experiencias con ecología industrial y conformar un Parque eco-industrial, por este motivo es considerado un proyecto viable e interesante para la empresa y para la región.

20 Leal, José. Ecoeficiencia: marco de análisis , indicadores y experiencias. 2005

21 PARQUES INDUSTRIALES ECOEFICIENTES EN BOGOTÁ: UNA ALTERNATIVA AMBIENTAL, ECONÓMICA Y/O SOCIAL? Néstor Monroy, Dayana Ramírez

5. Metodología

La Ecología Industrial es un contexto para crear métodos y herramientas nuevos y para adaptar y aplicarlos bajo funciones únicas de IE. Uno de los primeros métodos en desarrollarse fue el Metabolismo Industrial el cuál se utilizará en la realización de este trabajo.

5.1 Metabolismo Industrial (MI):

El Metabolismo industrial, es un análisis desarrollado primero por Robert Ayres en 1970, que se ha convertido en una base fundamental para la ecología industrial.

Se describe el MI como el proceso en que los materiales y la energía fluyen a través de los sistemas industriales, desde la fuente, los varios procesos industriales hasta su disposición final.

Nace de una comparación con el metabolismo de los sistemas naturales, donde los flujos de energía y materiales es cerrado, permaneciendo en un reciclaje constante.²² A diferencia de los sistemas industriales, donde los flujos de energía y materia es abierto y son sistemas muy disipativos, dejando la concentración de los materiales muy bajas para darles un valor pero suficientemente altas para contaminar.

El uso disipativo es donde los materiales se degradan, dispersan y pierden en el transcurso su utilidad. En estos términos, una apropiada definición de residuo sería: uso disipativo de recurso natural. Toda descarga al medio ambiente en forma disipativa no es sostenible.²³

Por lo tanto el mayor objetivo de un ecosistema industrial exitoso es minimizar el flujo de materiales en forma de residuo, mientras se maximiza el flujo interno de materiales dentro del sistema.²⁴

Los estudios de MI, se han enfocado en flujo de materiales, aunque el método también se puede utilizar para flujos de energía y de agua y puede ser aplicado en diferentes niveles, global, nacional, regional, por industria, compañía o por sitio.

Beneficios:

La visión integrada, ayuda a los tomadores de decisiones a evitar soluciones a corto plazo que pueden tener impactos negativos, ayuda a los encargados a identificar y evaluar el potencial de oportunidades de ahorro de costos y mejoras en el rendimiento ambiental.

²² Lowe, EA et al. Discovering Industrial Ecology. 1997.

²³ Ibid.

²⁴ Manahan Stanley, E. Industrial Ecology Environmental Chemistry and Hazardous Waste. 1999.

Procesos para aplicar el Metabolismo Industrial²⁵

5.2 Diagnostico Inicial de la empresa:

El nivel de detalle y elementos específicos dependen del sistema en cuestión.

5.2.1. Mapa de flujo de materiales y energía

- Definir los límites del sistema y subsistema para determinar cuales materiales entran o dejan el sistema en cuestión
- Inventario de todos los procesos y productos materiales (entradas y salidas)
- Identificar fuentes de toda la energía y costos energéticos de procesamiento
- Estimar emisiones generadas por procesos
- Determinar los costos de disposición final.

5.2.3. Analizar relaciones críticas

- Proporción de recursos energéticos renovables/ fósiles utilizados
- Calcular proporción de residuos reciclados/ disposición final: Entre mayor sea la cantidad de residuos que se puedan valorizar o reciclar, más cerca esta el sistema de ser sostenible.
- Estimar el costo total (oculto y explicito) de generar residuos y emisiones.

5.3 Desarrollar Escenarios de mejora del rendimiento

Se identificarán cuales son los residuos prioritarios para buscar una alternativa de tratamiento, una vez identificados, se realizará una revisión del Catalogo europeo de residuos en primer lugar, para identificar con exactitud las posibilidades de valorización y reciclaje que existen y se ajustan a la normativa europea (que luego se contrastará con la normativa Colombiana).

También se realizará una revisión de las Best Available Techniques (BAT) elaborados por el IPTS (Institute for prospective technological studies) de la comisión europea.

El documento que hace referencia a las actividades de tratamiento de residuos, cubre la instalaciones de un número de tratamientos de residuos peligrosos y no peligrosos. Tratamientos para residuos comunes, biológicos, fisicoquímicos, de recuperación de residuos y tratamientos para producir combustibles ²⁶

Esto permite elaborar un escenario propuesto de mejora para la gestión de los residuos en RH.

5.4. Evaluación de beneficios y costos

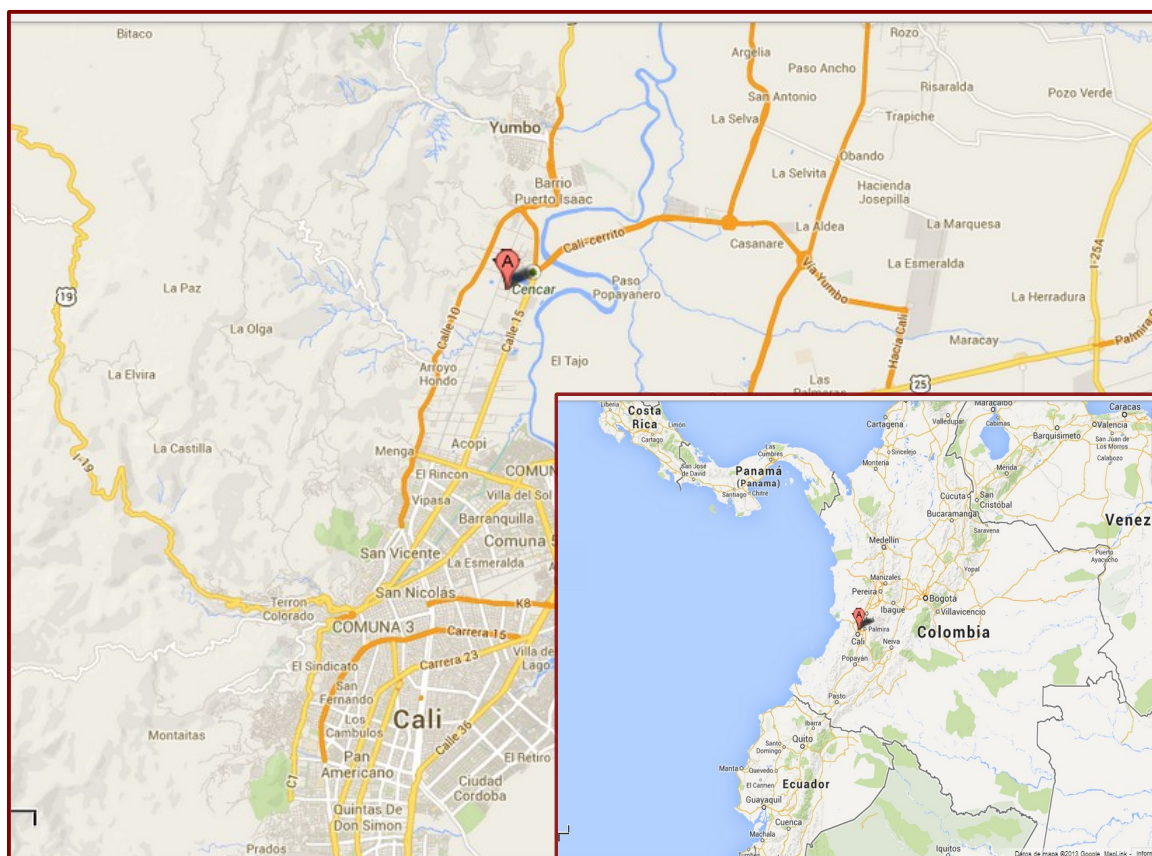
Se desarrollarán indicadores, que permitan medir cual es el beneficio ambiental de implementar la propuesta en comparación con el proceso anterior, y se calculará que tan significativo es en relación al resto del sistema para de esta forma priorizar las propuestas.

²⁵ Lowe, EA et al. Discovering Industrial Ecology. 1997.

²⁶ Comisión Europea. BAT Waste treatment

6.1 Diagnostico Inicial de la Empresa

La empresa RH SAS, nace en 1997 como una solución al problema con los residuos hospitalarios y la ciudad de Cali (Colombia). Su misión es “liberar al medio ambiente de residuos contaminantes a través de personal capacitado en las mejores técnicas para el manejo de residuos, mediante tecnologías y procesos adecuados conforme la ley exige para la gestión integral de residuos peligrosos, contribuyendo con los generadores de residuos peligrosos de nuestro país a la solución de conflictos ambientales, sanitarios y sociales.

Localización:

Fuente: Tomado de Google Maps. 2013

La empresa se encuentra ubicada a 20 minutos a la ciudad de Cali, la tercera ciudad más importante de Colombia. En la urbanización industrial Acopi – Yumbo. Algunas de las empresas que se encuentran en esta misma urbanización son:

- Resortes Hércules 8 (Fabricación de resortes de ballestas entre otros)
- Equipos e Instrumentos Ltda. (Equipos para control de contaminación ambiental)
- Impresora del Sur (Ares gráficas)
- General metálica (Fabricación de grapas, clavos, alambres entre otros)
- Industrias Axial (Producción de carrocerías para ambulancias)
- Industrias Leunda (Secor metalmecánico)
- Unimaq (Fabricación de maquinaria agrícola) ; entre otros

Servicios que presta la Empresa:

Recolección: Se cuenta con una flota de 15 vehículos los cuales cumplen con todas las exigencias del “Decreto 1609 de 2002, para transporte de mercancías peligrosas”, se tiene una capacidad total de recolección de 40 T/turno y transporte especializado para recolección de residuos hospitalarios, recolección selectiva de RESPEL, recolección de residuos comunes e inertes y servicio de recolección en casa.

Almacenamiento: Cuenta con un área aislada y segura especialmente almacenamiento de residuos industriales, también un cuarto frío para almacenamiento de residuos biomédicos con capacidad hasta de 20 Ton y temperaturas inferiores a 4°C, y un congelador para residuos anatomopatológicos, todos equipados de acuerdo a las exigencias de la ley.

Tratamiento: Se tienen los siguientes tratamientos para los diferentes tipos de residuos.

- Incineración de alta eficiencia: Se cuenta con dos hornos incinerados con capacidad de 80 – 160 Kg/hora para residuos anatomopatológicos, cortopunzantes y residuos industriales.
- Esterilización y trituración: Se cuentan con 5 autoclaves para esterilización de residuos biomédicos que funcionan en turnos de 8 horas.
- Clasificación, destrucción y reciclaje: para residuos peligrosos y no peligrosos. (medicamentos, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), etc.)
- Encapsulamiento o solidificación: para residuos con metales pesados, como baterías de plomo, pilas, lámparas de mercurio entre otros.



Figura 6. Tratamiento de Incineración RH SAS
Fuente: RH SAS. 2013



Figura 7. Tratamiento de Esterilización RH SAS
Fuente: RH SAS. 2013

Disposición final:

Relleno de seguridad: Se envían las cenizas correspondientes al proceso de incineración, así como los polvos resultado de mantenimientos en los hornos incineradores y la planta de tratamiento de gases y los materiales previamente encapsulados.

Relleno Sanitario: Se depositan aquí los residuos biomédicos esterilizados y triturados y demás residuos no aprovechables y no peligrosos.

Terceros: Cuando la capacidad de tratamiento de residuos no es suficiente o en el caso de algunos residuos, no se tiene la capacidad tecnológica o el permiso de tratarlo, la empresa RH SAS lleva sus residuos a empresas autorizadas para su debido tratamiento y disposición final.

Datos Estadísticos:

Recepción de Residuos: Para el año 2012 se recibieron un total de **4.191 ton/año**, en promedio de **350 Ton/mes** distribuidas así: **300 Ton/mes de Residuos Hospitalarios** y **50 Ton/mes de Residuos Industriales**. Los datos completos de Kg recibidos mes a mes, están en el **Anexo 1**.

Recepción de residuos promedio 2012

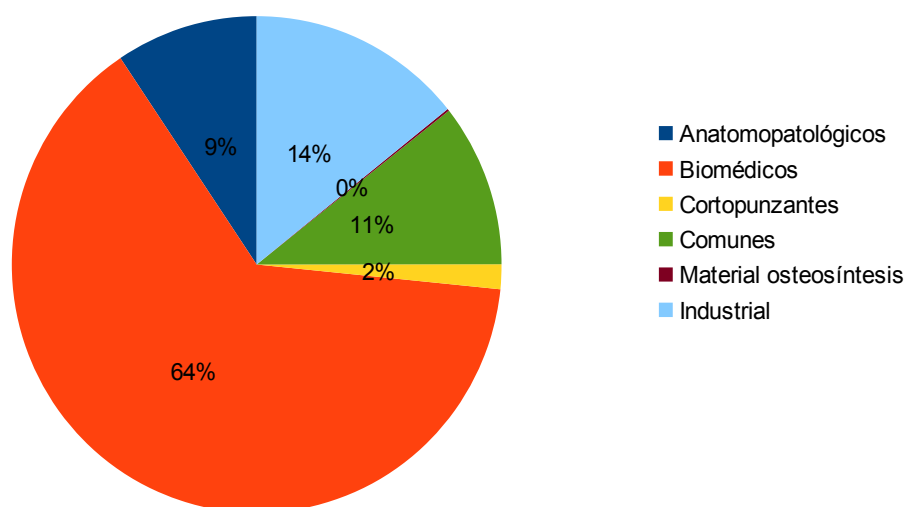


Figura 8. Composición de residuos promedios recibidos en RH SAS

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa RH SAS.

La composición promedio mensual de los residuos recibidos es la siguiente:

- Anatomopatológicos 33 ton (9%)
- Biomédicos 225 ton (64%)
- Cortopunzantes 5,7 ton (2%)
- Comunes 37,3 ton (11%)
- Material osteosíntesis 0,5 Ton (0,01%)
- Industriales 50 Ton (14%)

En el Anexo 1. Se especifican las cantidades recibidas mensualmente

Sobre los residuos Industriales, la recepción de estos residuos varía mucho durante el año como se puede ver en la siguiente gráfica:

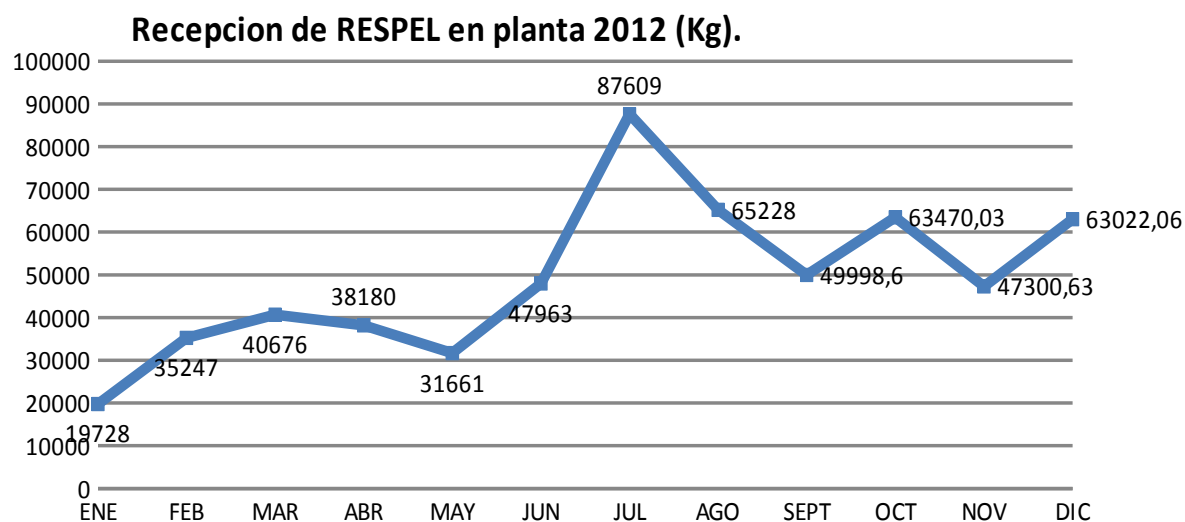


Figura 9. Recepción de RESPEL en planta 2012

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa RH SAS.

En la siguiente tabla se pueden ver igualmente las cantidades específicas recibidas de estos residuos, sin embargo para tener un idea, en la siguiente tabla se muestran los tipos de Respel recibidos, totales en el año, el promedio mensual, el tratamiento que se les realiza y la disposición final de los mismos. los residuos RESPEL que se reciben en mayor cantidades son los siguientes:

Tabla 1. Residuos Industriales “Respel” recibido en el año 2012

RESIDUO INDUSTRIAL	Total Anual (Ton/año)	Media Mensual (Kg/mes)	TRATAMIENTO	DISPOSICIÓN FINAL
CONTENEDORES CONTAMINADOS CON ACEITE E HIDROCARBURO	0,46	38,7	Incineración	Relleno Seguridad
CONTENEDORES CONTAMINADOS CON PINTURAS TINTAS Y BARNICES	3,02	251,3	Incineración	Relleno Seguridad
CONTENEDORES CONTAMINADOS CON QUÍMICOS	0,48	39,7	Incineración	Relleno Seguridad
EMULSIONES-ACEITES CONTAMINADOS CON AGUA	1,80	150,0	Incineración	Relleno Seguridad
EPP Y DOTACIONES	8,03	668,8	Incineración	Relleno Seguridad
INDUSTRIALES INCINERABLES	282,17	23513,9	Incineración	Relleno Seguridad
QUÍMICOS VARIOS	11,77	980,9	Incineración	Relleno Seguridad
REACTIVOS DE LABORATORIO	2,98	248,5	Incineración	Relleno Seguridad
RESIDUOS DE ANÁLISIS QUÍMICA	1,77	147,4	Incineración	Relleno Seguridad
RESIDUOS DE PEGANTES Y ADHESIVOS	3,17	264,1	Incineración	Relleno Seguridad
SOLIDOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBURO	5,29	441,0	Incineración	Relleno Seguridad
SOLVENTES	1,5	121,1	Incineración	Relleno Seguridad
SOLVENTES CONTAMINADOS	101,0	8418,2	Incineración	Relleno Seguridad
TINTAS PIGMENTOS Y PINTURAS	3,3	278,6	Incineración	Relleno Seguridad
WAIPES	48,0	3999,5	Incineración	Relleno Seguridad
PLAGICIDAS EN DESUSO	1,4	113,9	Incineración	Relleno Seguridad
XIOL	0,2	15,0	Incineración	Relleno Seguridad
CONTENEDORES DE MEDICAMENTOS	29,9	2495,0	Destrucción	Relleno Sanitario
CONTENEDORES PRESURIZADOS	0,9	73,0	Destrucción	Reciclaje
INDUSTRIALES NO PELIGROSOS	10,2	849,8	Destrucción	Relleno Sanitario
MATERIAL NO COMERCIAL	4,6	385,5	Destrucción	Relleno Sanitario
MATERIAL NO COMERCIAL PARA DESTRUCCIÓN	1,6	129,3	Destrucción	Relleno Sanitario
MEDICAMENTOS	19,9	1660,7	Destrucción	Relleno Sanitario
MEDICAMENTOS VENCIDOS MP	0,8	66,6	Destrucción	Relleno Sanitario
RAEE	6,9	577,9	Destrucción	Relleno Seguridad
TONNERS	0,7	60,3	Destrucción	Relleno Seguridad
CINTAS DE IMPRESORAS	0,3	28,2	Destrucción	Relleno Seguridad
LÁMPARAS FLUORESCENTES	11,7	975,2	Destrucción	Relleno Seguridad
AMALGAMAS	0,5	44,5	Encapsulamiento	Relleno Seguridad
CAPSULAS DE AMALGAMA	0,3	24,6	Encapsulamiento	Relleno Seguridad
DERRAMES DE MERCURIO	0,2	19,9	Encapsulamiento	Relleno Seguridad
PILAS Y BATERÍAS	2,6	213,2	Encapsulamiento	Relleno Seguridad
INDUSTRIALES RELLENO DE SEGURIDAD	6,9	570,8	ninguno	Relleno Seguridad
CITOTOXICOS	0,0	1,3	Relleno Seguridad	Relleno Seguridad
FORMOL	1,4	117,5	Incineración	Relleno Seguridad
PLOMO	0,1	10,4	Encapsulamiento	Relleno Seguridad
ACEITES USADOS	4,9	411,7	Tercerización	Reciclaje
ÁCIDOS LÍQUIDOS	0,2	20,0	Tercerización	Reciclaje
LIQUIDO DE REVELADO	1,7	141,3	Tercerización	Reciclaje
LLANTAS USADAS	6,2	533,3	Tercerización	Reciclaje
TOTAL	589,049	49087,4		

Fuente: Elaboración Propia con datos proporcionados por la empresa RH SAS

Tratamiento de Residuos:

Incineración: En el año 2012 se incineraron en las instalaciones de RH SAS 869 ton/año (20,7% del Total de Residuos recibidos), que corresponde a aproximadamente un 72,5 Ton/Mes compuestos de la siguiente manera:

- Biomédicos incinerados: 13 Ton/mes (3 % de los biomédicos recibidos)
- Anatomopatológicos incinerados 39 Ton/mes (100% de los anatomopatológicos recibidos)
- Cortopunzantes incinerados 8,1 Ton/mes (100% de los cortopunzantes recibidos)
- Residuos Industriales incinerados 12,7 Ton/mes (6,35% de los industriales recibidos)
- Medicamentos incinerados 0,6 Ton/mes (100% de los medicamentos recibidos)

Esterilización: En este mismo año se esterilizaron 2782 Ton/año, un promedio de 232 ton/mes (66,4 % de los residuos totales recibidos, compuesto casi exclusivamente de residuos biomédicos)

Destrucción/ encapsulamiento: Se destruyeron y encapsularon 17, 4 ton/año, o un promedio mensual de 1,45 ton/mes de residuos (0,04% del total de residuos recibidos) correspondiente a residuos industriales (Respel).

Tercerización: Se tercerizaron 229,5 ton/año, un promedio de 19 ton/mes. (5,5 % del total de residuos recibidos). Compuesto principalmente por residuos anatomopatológicos, biomédicos y algunos industriales (llantas usadas, líquidos de revelado, aceites etc).

En la siguiente tabla se muestra cual es el tratamiento destino para los residuos Respel -Industriales, el consolidado del flujo de residuos se puede ver en el **Anexo 2.**:

Tabla 2. Porcentaje de residuos Respel según, tratamiento (en planta y en terceros).

Tratamientos para Respel			
Tipo de proceso	Ton/año	Promedio Kg/mes	%
Incinerables	476,3	39691,7	80,86
almacenados	106,3	8858,3	22,3
tercerizados	221	18416,7	46,40
incinerados en planta	149	12416,7	31,3
Destruibles	82,2	6850,0	13,95
destruidos	73,5	6125	89,42
reciclados	8,7	725	10,6
Encapsulados	23,7	1975,0	4,03
Tercerizados	6,9	575,0	1,17
TOTAL	589,1	49091,7	100

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa RH SAS.

6.2 Metabolismo Industrial

6.2.1 Mapa de flujo de materiales y energía

- Definir los límites del sistema y subsistema para determinar cuales materiales entran o dejan el sistema en cuestión

Las propuestas generadas en el proyecto, se limitarán al área operativa en la planta desde el almacenamiento hasta cada uno de los tratamientos como sistema y los subsistemas serán los procesos de tratamiento dentro de la planta.

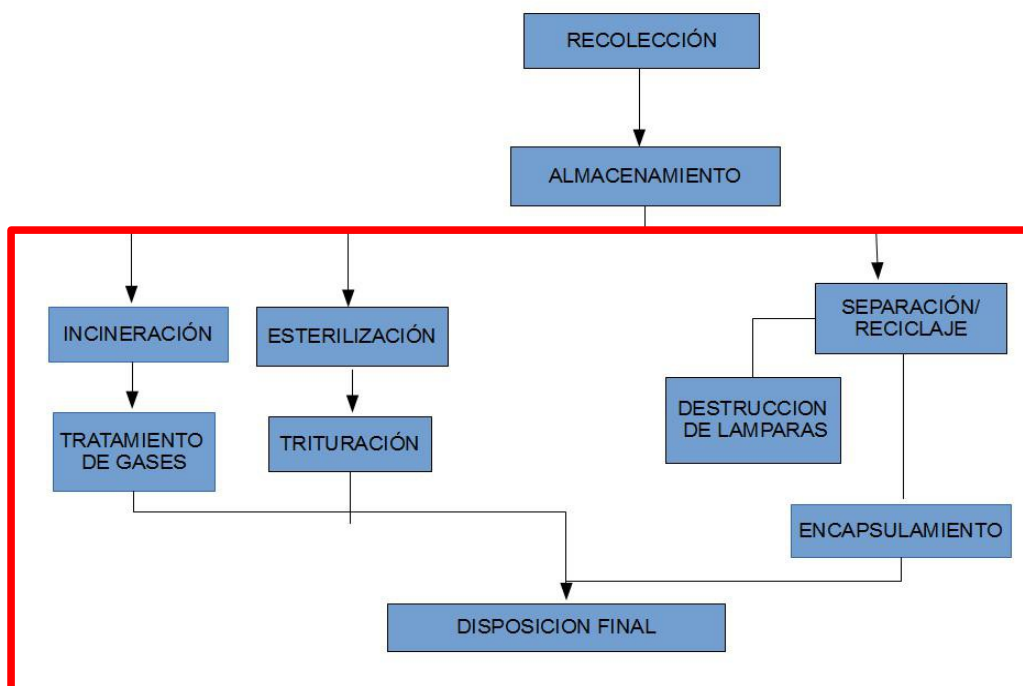


Figura 10. Diagrama de Flujo – Área operativa

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa RH SAS.

- Inventario de todos los procesos y productos materiales

Se realiza un inventario general de materiales (Residuos) y energía consumidos en los principales procesos de tratamiento llevados a cabo en la empresa, que luego llevará a la elaboración del diagrama de flujo de residuos actual, que se muestra en la figura 11.

Tabla 3. Inventario de entradas y salidos por procesos/tratamiento

ENTRADAS	PROCESO	SALIDAS
Gas Residuos	INCINERACIÓN	Emisiones cenizas de incineración
Costales Residuos Energía Agua (Vapor)	ESTERILIZACION	Vertimientos residuos esterilizados
Residuos esterilizados	TRITURACIÓN	Residuos triturados
Residuos industriales	SEPARACION/ RE- CICLAJE	Residuos valorización /disposición final
Tanques metálicos Lamparas fluorescentes Energía	DESTRUCCION DE LAMPARAS	Filtros con gases de mer- curio, y vidrio contami- nado para disponer en el- leno de seguridad
Residuos RESPEL (metales pesados) cemento Klinker 5 tanques metalicos	ENCAPSU- LAMIENTO	Residuos encapsulados

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa RH SAS.

En el siguiente gráfico, se pueden ver claramente, el flujo de los residuos desde su almacenamiento hasta su disposición final, con las cantidades reales tratadas en el año 2012.

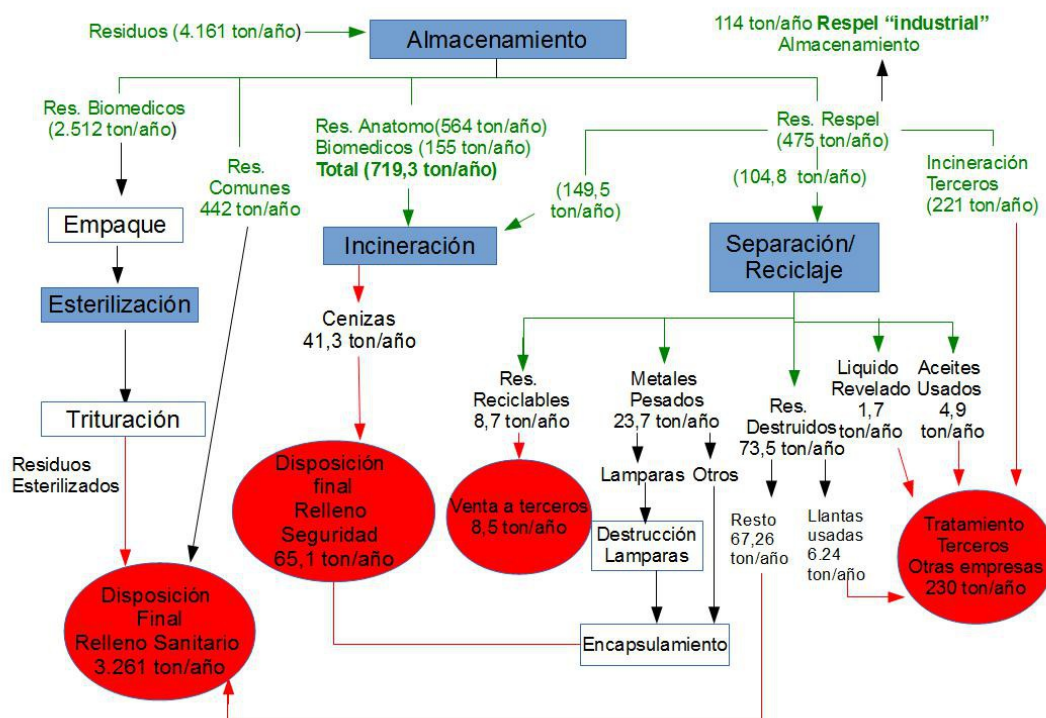


Figura 11. Flujo de residuos actual de RH SAS

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa RH SAS.

- Identificar fuentes de toda la energía y materiales, costos energéticos

Se calculan los consumos anuales totales de las principales fuentes energéticas y el costos de este consumo con base en información suministrada por la empresa. Todos los valores de costos, serán dados en COP (Pesos Colombianos). Para darse una idea, un euro equivale a 2.500 COP.

Tabla 4. Costos de energía, agua y gas anuales RH SAS

INPUT	FUENTE	CANTIDAD CONSUMIDA ANUAL (2012)	COSTOS ANUALES (COP)
Energía	100% red eléctrica	133124,9 kWh	54.451.376,20 COP
Agua	100% red de acueducto	4406,4 m3	9.048.090,00 COP
Gas	100% red de gas	276979 m3	100.004.890,00 COP

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa RH SAS.

- Identificar consumos de energía por tratamiento:

Una vez conocidos los consumos energéticos generales, de acuerdo la información proporcionada por la empresa, se separan estos por tipo de residuo, considerando que el principal consumo de gas lo realiza el proceso de incineración (bodega 1), y el consumo de energía puede separarse por la ubicación en esterilización (consumo de bodega 2) y almacenamiento, destrucción y encapsulamiento de Respel(Bodega 3). Ver Anexo 2.

Con esta información se puede calcular el costo energético a pagar por cantidad de residuo tratada. Considerar que estos costos, no incluyen el costo de recolección, transporte, almacenamiento, y mantenimiento de equipos, son únicamente energéticos.

Tabla 5. Consumos energéticos, costos por tratamientos

COSTOS DE TRATAMIENTOS				
PROCESO	Ton/año Residuos	Consumo	Valor (COP)	Valor COP/Ton residuo
Incineración	869	276.969 M3 Gas	246.759.834,00 COP	283.958,38 COP
Esterilización	2782	38.538 kWh	15.415.200,00 COP	5.541,05 COP
Destrucción	82,1	4.664 kWh	1.886.084,00 COP	17.793,25 COP
Encapsulamiento	23,7			
TOTAL	3.757		262.175.034,00 COP	289.499,43 COP

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa RH SAS.

* Como los residuos comunes no reciben un tratamiento, y solo se transportan hacia la disposición final, no se incluyen en esta tabla.

- Calcular Emisiones Asociadas a el consumo energético en cada proceso

Para tener una idea de cual es la emisiones de gases efecto invernadero producida en el tratamiento de los diferentes tipos de residuos, se toman los factores de emisiones correspondientes. Para el caso del consumo energético, se toma el **0.2849Kg CO₂e/kWh**, adoptado en Colombia bajo la **Resolución 180947 de 2010**²⁷, para proyectos de energía, el cual es un factor muy similar al que adopta la oficina catalana de cambio climático en Cataluña. Factor mix eléctrico para el año 2011, que corresponde a 0,267 Kg CO₂/kWh. ²⁸ . Para el caso del consumo de gas, se toman los datos de la oficina catalana de cambio climático, que esta

²⁷ Ministerio de Minas y Energía. Resolución No. 180947 de Junio 4 de 2010. Colombia.

²⁸ Oficina Catalana de Cambio climático. Guía practica para el calculo de emisiones de gases efecto invernadero. 2012

calculado específicamente para el consumo de gas natural (m3) como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6. Emisiones Asociadas al consumo energético por tipo de tratamiento

EMISIONES ASOCIADAS AL CONSUMO ENERGETICO					
PROCESO	Ton/año Residuos	Consumo	Factor de emisión	Emisiones Aso- ciadas Kg CO2 eq/año	KgCO2/ton residuo
Incineración	869	276.969 M3 Gas	2,15 Kg CO2e/m3 Gas natural	59.548.335	68.525
Esterilización	2782	38.538 kWh	0.2849 kg CO2e/kWh	10.979	3,9
Destrucción y en- capsulamiento	105,8	4.664 kWh	0.2849 kg CO2e/kWh	30	0,3
TOTAL	3756,8			59.559.345	68.529

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa RH SAS.

- Costos Anuales de Disposición Final

Como se describió anteriormente los residuos obtenidos después del tratamiento, tienen dos destinos, o relleno de seguridad para los residuos encapsulados y cenizas de incineración, y el relleno sanitario, donde van los residuos comunes (esterilizados y orgánicos). Sin embargo también existen los residuos que son tercerizados, es decir que son tratados por otras empresas, como en el caso de los aceites, llantas de caucho y líquidos de revelado, y también cuando los residuos exceden la capacidad de tratamiento se llevan a otras empresas para su incineración y/o esterilización. Esta información se resume en la siguiente tabla.

Tabla 7. Costos Anuales de disposición final

DISPOSICIÓN FINAL			
Tipo de Residuo	Ton/año	Precio (Pesos x Ton)	Precio Total/año
RELLENOS DE COLOMBIA			
Vidrio de lámparas de vapor de mercurio	9,7	3.000.000,00 COP	29.100.000 COP
Cenizas de incineración	49,7	644.000,00 COP	32.006.800 COP
Pilas y Baterías	1,8	10.000.000,00 COP	18.000.000 COP
Amalgamas de origen odontológico	0,2	10.000.000,00 COP	2.000.000 COP
SUBTOTAL	61,4	23.644.000,00 COP	81.106.800 COP
INTERASEO			
Residuos biomédicos	2782	21.246,00 COP	59.106.372 COP
Residuos comunes	442	21.246,00 COP	9.386.483 COP
SUBTOTAL	3.224	42.492,00 COP	68.492.855 COP
TERCERIZACIÓN			
Ambient	3	800.000,00 COP	2.000.000 COP
Suroccidente	21	1.100.000,00 COP	22.770.000 COP
EMAS	190	800.000,00 COP	151.680.000 COP
Occidental de caucho	7	300.000,00 COP	1.950.000 COP
ASEI	11	330.000,00 COP	3.696.000 COP
SUBTOTAL	230	3.330.000,00 COP	182.096.000 COP
TOTAL	3.516	-	331.695.655 COP

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa RH SAS.

6.2.2 Analizar relaciones críticas

- Residuos recuperados y/o valorizados Vs tratamiento final:

Los residuos actualmente recuperados o **valorizados** son tan solo un **1,17%** del total de residuos, sin embargo son residuos que se tratan en compañías externas como es el caso de los íquidos de revelado o las llantas usadas, y un pequeño % de materiales para reciclaje que sale de la destrucción de materia comercial.

- Proporción de recursos energéticos renovables Vs fósiles :

El % de energía obtenida de **fuentes renovables** es **0%** (se utiliza gas y energía de la red pública), pero se tiene un potencial grande con el proceso de incineración actual y algunos residuos con potencial calorífico que se pueden estudiar.

- Costos energéticos de tratamiento y emisiones de CO₂ eq generadas por Tonelada de Residuo

Como se puede ver en la siguiente tabla resumen (tabla 8.), aunque tan solo el 20% de los residuos se incineran, el costo energético por tonelada de residuos tratado es el más alto. De igual forma las emisiones de CO₂ eq en este tratamiento son significativamente más elevadas.

También es de resaltar que los residuos que se incineran son anatomopatológicos e industriales, los residuos anatomopatológicos por ley deben ser incinerados, lo que lleva a que se evalúe dentro de los residuos industriales cuales pueden evitar ser incinerados.

Dentro de los residuos industriales se incineran el 80, 72% y se destruye el 15, 85%, con una revisión adecuada de cuales pueden ser los residuos valorizables, esta cifra puede aumentar.

- Costos de disposición final por tonelada de residuo

Sin embargo al considerar también los costos de disposición final, se puede ver que los costos más altos por tonelada de residuo provienen de tratamientos como el encapsulamiento, que tiene altos costos de disposición final por tratarse de metales pesados. Y también los residuos que deben llevarse para tratamiento en otras empresas, representan un costo mucho mayor en relación a los residuos que son previamente tratados en incineración y esterilización.

Conocidos los tratamientos que generan mayores costos y mayores impactos ambientales (teniendo como indicador las emisiones de CO₂ eq, se puede empezar a buscar nuevos tratamientos y tecnologías que reduzcan estos valores.

Tabla. 8. Resumen de Costos energéticos y de disposición final por Ton de residuo

Tratamiento	Ton/año Residuos	% Residuos	Costo energético (COP)/Ton residuo	Costo Disposición Final/Ton residuo	Emisiones Kg CO ₂ eq/Ton residuo
Incineración	869,0	20,0	284.285,52 COP	644.000 COP	68.525,1
Esterilización	2.782,1	64,1	5.541,05 COP	21.246 COP	3,9
Destrucción/ Encapsulamiento	17,4	0,4	17.793,25 COP	23.000.000 COP	0,3
Tercerización	229,5	5,3	0	3.330.000 COP	0
Residuos comunes	441,8	10,2	0	21.246 COP	0

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa RH SAS.

6.2.3 Resultados del Diagnostico. Determinar el programa más efectivo para cambiar y establecer objetivos.

Considerando lo anterior, se tiene como resultado que es necesario empezar por buscar alternativas de tratamiento y nuevas tecnologías para residuos industriales que son incinerados y residuos que son encapsulados, que tienen metales pesados.

Por ultimo alternativas de disposición final para residuos esterilizados y comunes para de esta forma bajar los costos energéticos de tratamiento, las emisiones generadas por incineración y los costos de disposición final.

El objetivo es convertirse en un centro de valorización y recuperación de residuos y no solo un lugar de tratamientos de final de tubo.

Para empezar, se considerarán los residuos incinerables que se reciben en mayor cantidad, estos son:

- Industriales incinerables 282 ton/año (No se considerarán al no ser un solo tipo de residuo y por darse por sentado que deben ser incinerados)
- Solventes contaminados 101 ton/año

y los residuos de destrucción y encapsulados que se reciben en mayor cantidad son:

- Lámparas fluorescentes 11,7 ton/año
- Industriales para relleno de seguridad 6,9 ton/año (Son residuos varios que deben ser dispuestos en relleno de seguridad sin tratamiento previo por lo tanto no se considerarán)
- Pilas y baterías 2,6 ton/año

Además y como parte de la intención de la empresa por evitar la tercerización de los residuos (tratamiento en otras empresas), se consideran de igual forma aquellos residuos que actualmente se llevan a otras empresas para su tratamiento, pero que de ser factible, se puede implementar el tratamiento en la empresa. Estos residuos son:

- Aceites Usados 4,9 ton/año
- Llantas de Caucho 6,2 ton/año

Por último, y como pedido de la empresa, se consideran también los RAEE (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos) con 6,9 ton/año, porque es un proyecto que se quiere realizar de acuerdo a la demanda de las otras industrias.

A continuación se realiza una revisión del Catalogo europeo de, para conocer las posibilidades existentes de valorización y reciclaje que existen y se ajustan a la normativa europea y se contrastará con la normativa Colombiana.

Para complementar esta información se utilizan las Best Available Techniques (BAT), donde se encuentran dos de especial interés: Waste incineration y Waste treatment industries²⁹, donde se complementa información para describir el tipo de tratamiento adecuado, estos tratamientos son presentados a continuación:

²⁹ Comisión Europea. BAT Waste treatment Industries

6.3 Escenario Propuesto

6.3.1 Recuperación de Solventes:

Definición:

Se denomina solvente a una sustancia orgánica líquida que permite la dispersión de otra sustancia a nivel molecular o iónico. Tienen la capacidad de disolver, suspender o extraer otra sustancia, sin reaccionar químicamente con la misma, manteniéndose inertes. Es el medio dispersante de la disolución y se encuentra en mayor proporción³⁰.

Los disolventes pueden ser:

- Hidrocarburos (Benceno, hexano, tolueno, xileno)
- Alkoholes (metanol, etanol, isopropanol, etc)
- Cetonas (acetona, metiletilcetona)
- Halogenados (tetracloruro de carbono, percloroetileno, CFC'S, etc).

Y según sus características, se pueden clasificar en :

- Disolventes de alta volatilidad
- Disolventes de baja volatilidad
- Disolventes contaminados con sólidos
- Disolventes contaminados con líquidos

Legislación Colombiana sobre el tema:

Decreto 4741 de 2005: 'Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral'

Justificación:

Los solventes, contienen compuestos considerados como peligrosos, especialmente los compuestos orgánicos volátiles (COVs) , que se desprenden de las emisiones, aunque se ha tratado de remplazarlos, son sustancias que siguen siendo ampliamente utilizadas especialmente en los sectores industriales, de pinturas, limpiezas, farmacéuticos, etc. Debido a la alta demanda que aún tiene este material, es necesario recuperar el material, como se describe a continuación.

Recuperación de disolventes:

La ventaja de los disolventes, es que poseen alta tensión de vapor (propiedad que se utiliza para su valoración). El primer paso para su recuperación es separar en origen los disolventes halogenados de los no halogenados mediante el proceso de centrifugación y filtración, para eliminar el agua y los sólidos en suspensión, y luego la destilación como lo muestra la figura 6. permitirá recuperar el disolvente.

Dependiendo de la carga contaminante o el coste de la recuperación del disolvente, se puede o elaborar un disolvente regenerado de segunda clase o utilizarse el disolvente para mezcla de combustible alternativo.³¹

³⁰ Martínez, J. Et al. Guía para la gestión integral de residuos peligrosos. 2005.

³¹ Castells, Xavier. Reciclaje de Residuos Industriales. 2009

El proceso de recuperación es el siguiente:

- *Tratamiento inicial:* Los disolventes sucios recibidos son inicialmente tratados mediante separación mecánica para remover sólidos suspendidos y agua. Los métodos de separación mecánica incluyen filtración y decantación. Esta última también es usada para separar el agua del solvente inmiscible.
- *Destilación simple:* Después del tratamiento inicial, los solventes sucios destinados para reuso como solventes son destilados para separar las mezclas de solventes y para remover impurezas disueltas. Los solventes sucios destinados para ser reusados en mezclas de combustibles alternativos no son destilados³².

En la destilación simple por lotes, una cantidad de solvente usado es alimentada al evaporador, para separar mezclas de solventes, los solventes más volátiles son retirados por la parte superior de la columna mientras que los de mayor punto de ebullición son recolectados en el fondo, generalmente los que tienen más de 155°C son destilados más eficientemente. Se debe considerar que la destilación al vacío reduce la cantidad de calor necesaria para destilar a presión atmosférica.

Los vapores del solvente son removidos y condensados continuamente. Los residuos remanentes en el fondo del destilador son removidos del equipo después de la evaporación del solvente.

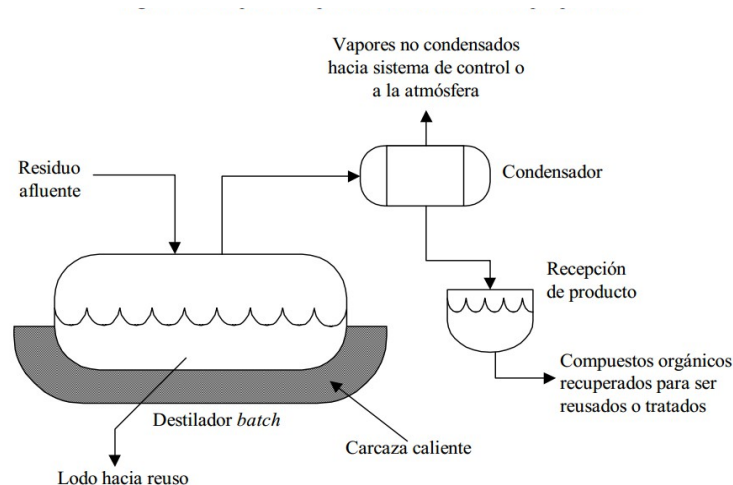


Figura12 . Proceso de destilación simple por lotes.

Fuente: Castells, Xavier. Reciclaje de Residuos Industriales. 2009

- *Purificación:* Después de la destilación, el agua adicional es removida del solvente por decantación. El enfriamiento previo la decantación facilita la separación de los dos componentes al disminuir su solubilidad. Durante la purificación, algunos solventes recuperados necesitan ser estabilizados. Según el estudio del CONAMA, Chile 1998, la eficiencia del proceso de recuperación es en promedio del 70 al 75%.

32 Comisión Nacional del Medio Ambiente – Región Metropolitana. Recuperación Solventes. 1999

Recuperación de Disolventes en RH SAS:

Se reciben al año 102.470 Kg/año de las cuales una parte son solventes comunes que pueden recuperarse tan solo con un pre tratamiento para su re utilización y una parte de solventes contaminados, de los cuales el 75% puede ser recuperados en el proceso descrito anteriormente.

Tabla 9. Recuperación de Solventes

RESIDUO	kg/año	Promedio (Kg/mes)	Ton/año
Solventes	1453,6	121,1	1,5
Solventes Contaminados	101017,9	8418,2	101,0
Total Solventes Recibidos	102471,5	8539,3	8,5
Recuperación 75% Solventes contaminados	75763,4	6313,6	75,8
Residuo para incineración	26708,1	2225,7	2,2
Recuperación Total	77217,0	8539,3	77,2

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa RH SAS.

La siguiente gráfica muestra el flujo de residuos para los solventes recuperados en RH SAS

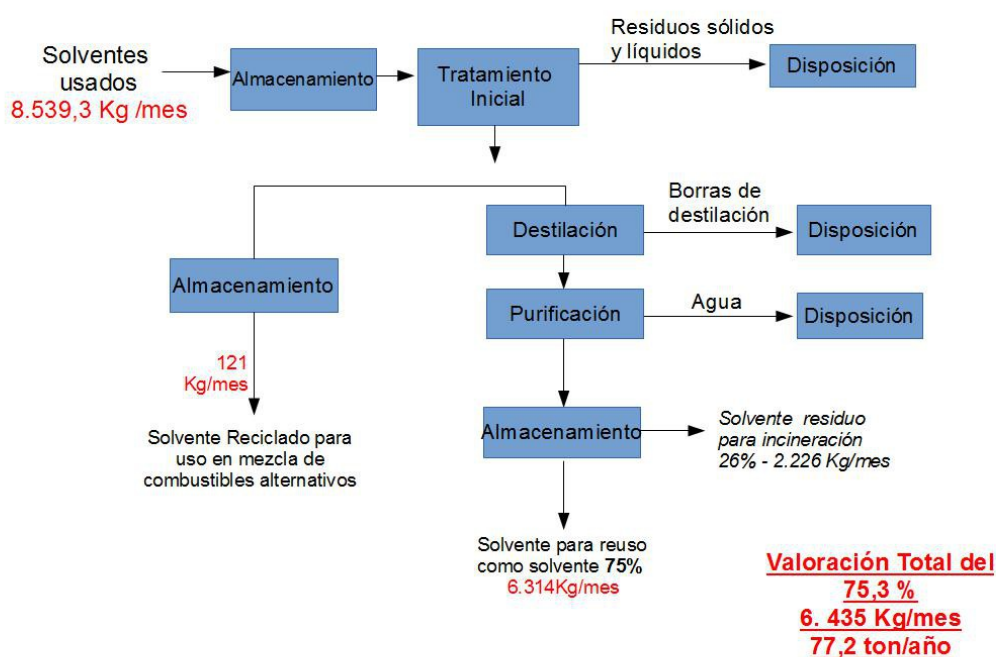


Figura 13 . Esquema general del proceso de recuperación de solventes

Fuente: Comisión Nacional del Medio Ambiente – Región Metropolitana. 1999

Impacto Ambiental:

Los solventes orgánicos y sus residuos son considerados peligrosos por sus características de inflamabilidad, liposolubilidad y volatilidad, con liberación de vapores inflamables, tóxicos y explosivos.

La evaporación de los disolventes orgánicos a partir de su uso en la industria, como ya se ha dicho, contribuye en una parte muy importante a estas emisiones, se calcula que contribuye al 65% de las emisiones en los sectores de producción y aplicación de pinturas, el sector de impresión y las actividades de desengrase y limpieza de metales.

Por su alto contenido en COV's, esta sustancia contribuye a la degradación de la capa de ozono, como son 1,1,1-tricloroetano, tetracloruro de carbono, CFCs, HCFCs, entre otros. Además junto con los NOx en presencia de la luz solar actúan como precursores de la formación de ozono troposférico o ambiental. Lo cual también causa de efectos nocivos para la salud humana.

El tratamiento de recuperación anteriormente descrito puede generar impactos ambientales debido a las emisiones generadas, que deben ser por tal motivo, tratadas en un sistema apropiado.

6.3.2 Recuperación del Mercurio de lamparas, amalgamas, pilas entre otros :

Definición:

El mercurio (Hg) es un metal que a temperatura ambiente se encuentra en estado líquido y es evaporable. Las fuentes más conocidas son los barómetros, tensiómetros, termómetros, pilas (botón), tubos fluorescentes, lamparas de bajo consumo etc.

- Los diferentes tipos de lámparas se pueden clasificar en tres grupos:

- Lámpara tubular (10 – 20 mg/hg/lamp.)
- Compacta/ electrónica (5-15 mg/hg/lamp.)
- HID (vapores metálicos/mista mercurio/ sódio (20-200 mg/hg/lamp.)

- Las pilas botón: Pueden ser de óxido de Mercurio (30 % de Hg) u óxido de Plata (1 % de Hg).

- Los Instrumentos de Medición: Contienen mercurio elemental.

- La amalgama: es compuesta generalmente de aleaciones de mercurio con otros metales como planta, estaño, cobre, zinc u oro.

Justificación:

La recuperación del mercurio en los residuos que se reciben en RH SAS, es de gran importancia, no solo por el tipo de contaminante y los impactos ambientales que se derivan de su mal manejo, sino también porque las cantidades que se reciben son grandes y el tratamiento, es básicamente encapsularlo para enviarlo a un relleno de seguridad, con altos costos de disposición final.

Legislación Colombiana sobre el tema:

En Colombia no existe una legislación específica para el tema del mercurio, aunque el país sufre de grande impactos ambientales por las emisiones al aire y al agua de esta sustancia.

Las lámparas, amalgamas entre otros, son gestionadas de acuerdo al Decreto 4741 de 2005 “ sobre residuos peligrosos”.

Sin embargo en Europa, la Directiva Europea 202/96/CE sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos establece que las plantas de tratamiento de lámparas fluorescentes deben procesar adecuadamente este tipo de dispositivos a y valorizar el 70% en peso de las lámparas tratadas³³.

Valorización del Mercurio:

Se describirá la forma en que se recupera mercurio de acuerdo a la compañía MRT. Aunque diversos gestores realizan el procedimiento de manera similar, Esta tecnología permite recuperar el mercurio no solo de las lamparas fluorescente sino también de otras fuentes.

Para la recuperación en lámparas. La recuperación del mercurio, aunque tienen proceso similares, se de estos elementos se realiza de la siguiente manera:

33 Rey, N y Gallardo, A. Caracterización de lamparas fluorescentes compactas usadas.2011

- A. El proceso de trituración de las lamparas (con el cual ya se cuenta en RH SAS), funciona bajo una corriente de aire de depresión y en su interior se rompe la lámpara. El vapor de mercurio es absorbido por la campana y las partes que no contienen mercurio son separadas y clasificadas por tipo de material y después de comprobar su descontaminación son recicladas. (las piezas metálicas). El polvo fluorescente va a los destiladores Batch³⁴.
- B. Los vidrios sobrante u/otros tipos de residuos con alta concentración de mercurio, son calentados en un horno para evaporar residuos de mercurio. la temperatura y presión (vacío) de operación varían en función del residuo a tratar.
- C. El mercurio crudo es recuperado por un proceso térmico y destilado tres veces hasta su completa purificación para ser recolectado.
- D. El material libre de mercurio es limpiado, enfriado y enviado a reciclaje. El vidrio puede fundirse y ser reutilizado.
- E. Las partículas orgánicas transportadas por los gases son oxidados en la cámara de combustión, se puede inyectar una mezcla de aire y oxígeno en la cámara, o si esta conectado a un horno incinerador con sistema de tratamiento de gases, es mas conveniente, para realizar este tratamiento. Como el equipo que tiene RH SAS.

Al separar los residuos (vidrio y polvo contaminado) el proceso es mas eficiente ten términos de costos. Se estima el vidrio residual contiene 3,22 micro gramos de mercurio por gramo de vidrio, lo que equivale a **3,2200 gr de Hg por tonelada de vidrio**.³⁵ Los resultados obtenidos en la investigación indican que el 60,56% del mercurio total introducido en una lámpara CFL se encuentra en el polvo fluorescente, por tanto, eliminando este polvo se consigue disminuir considerablemente la concentración de mercurio.

Otra opción es sin destruirlo, eliminar los extremos del tubo, luego con unas boquillas de expulsión soplar aire y recoger el polvo fluorescente del tubo, el vidrio y los extremos, separados en diferentes recipientes. La tecnología tiene una capacidad de procesar 5000 tubos hora y ofrece una pureza alta del vidrio recuperado y la posibilidad de reutilizar el polvo de fósforo³⁶.

Recuperación de Mercurio en RH SAS

Como se puede ver en la siguiente tabla, la tecnología del destilador Batch, permite recuperar casi el 99% del Hg, contenido en las lamparas, también puede utilizarse para recuperar el Hg de amalgamas, termómetros , etc, y aunque las cantidades de recuperación dependen de la composición de estos otros elementos, se realiza el cálculo, asumiendo que esta alrededor del 70% del peso total.

34 MRT System. Destiladores Batch. 2013

35 Centro Coordinador de Basilea. Proyecto Manejo racional de productos con mercurio. 2011

36 MRT System. End cut Machine. 2013

Tabla 10. Recuperación de Mercurio en lamparas

RESIDUO	Kg/Año	Promedio (Kg/mes)		
LÁMPARAS FLUORESCENTES	11702,2	975,2	11,7	Ton /Año
Cantidad de Hg 3,22 g/ton vidrio	95,5	3,140	37,7	gr de Hg
60,56% Polvo fluorescente de Hg	0,05	0,005	22,8	gr de Hg
39,44% polvo de Hg en vidrios	0,03	0,003	14,9	gr de Hg
AMALGAMAS	534	44,5	534000,0	gr de Hg
DERRAMES DE MERCURIO	239	19,9	239000,0	gr de Hg
TOTAL de HG			773037,7	gr de Hg
Recuperación del 70% del Hg	541,8	45,2	541126,4	gr de Hg
Recuperación Total del Hg	542	45,2	0,54	Ton /Año
Recuperación de Vidrio 99%	11702,2	975,18	11,7022	Ton Año

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa RH SAS.

En la siguiente figura, se muestra el proceso de recuperación de Hg en lamparas y otros mercuriales y se describe el posible flujo de este residuo en RH SAS

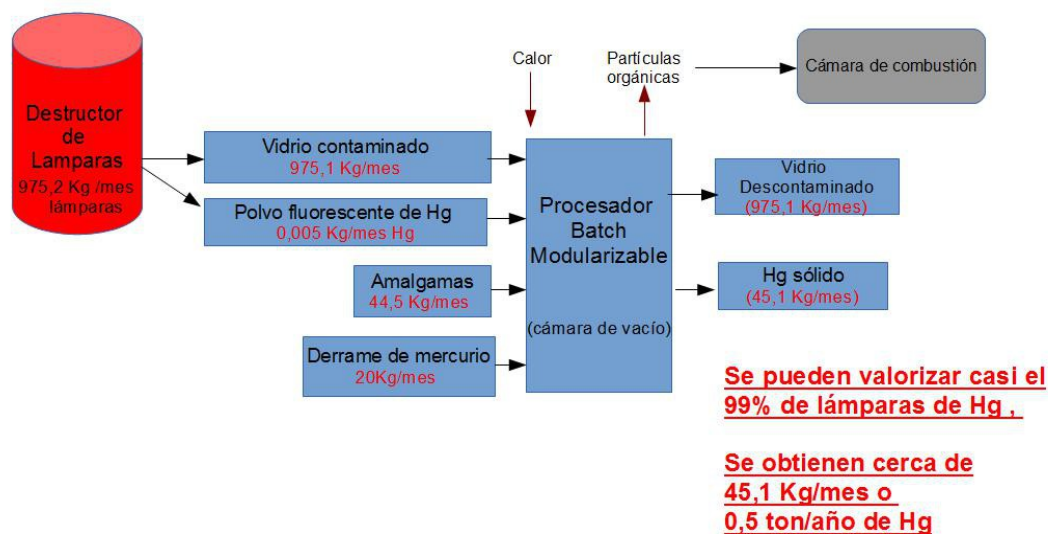


Figura 14. Recuperación de mercurio (Hg)

Fuente: MRT System. 2013

Impactos ambientales:

El mercurio es uno de los elementos de mayor toxicidad del planeta y cuando es liberado por actividades antrópicas al medio ambiente, puede permanecer por mucho tiempo en la atmósfera antes de depositarse. El mercurio ocasiona una amplia gama de efectos dañinos en la salud humana, afectando riñones, hígado, estómago, intestinos, pulmones y sistema nervioso). Los microorganismos convierten el mercurio inorgánico en metilmercurio, una forma química muy tóxica, persistente y bioacumulable.

6.3.3 Valorización de Pilas y Baterías

Definición:

Pila: Aparato destinado a almacenar energía eléctrica en forma de energía química que cuando se agota el electrolito deja de funcionar y deviene residuo.

Batería: Realiza la misma misión que la pila pero es recargable. De esta manera puede tener una vida útil muy larga.

Las pilas deben identificarse y separarse por tipos. Las más habituales son:

- Salinas de carbón-zinc (secas): con un contenido en Hg menos de 0,0025%
- Alcalinas de manganeso: cubierta metálica y contenido en Hg=0,1%
- Pilas botón: Pueden ser
 - De óxido de mercurio menor que 30% de Hg en peso
 - De ánodo de litio, extentas de mercurio
 - De zinc-aire= 1% de Hg
 - De óxido de plata= 1% de Hg

Legislación Colombiana sobre el tema:

Resolución 172 del 23 de enero de 2012 “ Por la cual se expide el reglamento técnico aplicable a pilas de zinc-carbón y alcalinas que se importen o fabriquen para su comercialización en Colombia”

Resolución 361 del 3 de Marzo del 2011: Por la cual se modifica la “*Resolución 372 de 2009*” por la cuál se establecen los elementos que deben contener los Planes de Gestión de devolución de productos postconsumo de baterías usadas plomo ácido y se adoptan otras disposiciones”.

Justificación:

En el año 2008, el Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial en Colombia realizó un estudio técnico sobre la generación y gestión de residuos de pilas y secundarias, donde se concluyó, que en promedio se generaban 11.000 toneladas de pilas al año 8000 correspondientes a pilas carbón- zinc, 2.000 de pilas alcalinas y el resto en residuos de pilas secundarias y de botón, además el 80% de los residuos de pilas se disponen en rellenos sanitarios y el 20% restante en botaderos o en otros sitios de disposición final no adecuados.

Valorización de pilas y baterías:

El objetivo del tratamiento y reciclado de las pilas es la obtención y recuperación de los materiales que contienen, básicamente metales.

El primer paso es clasificar las pilas según su composición y tamaño, y se separan las pilas botón del resto como lo muestra la figura 16³⁷.

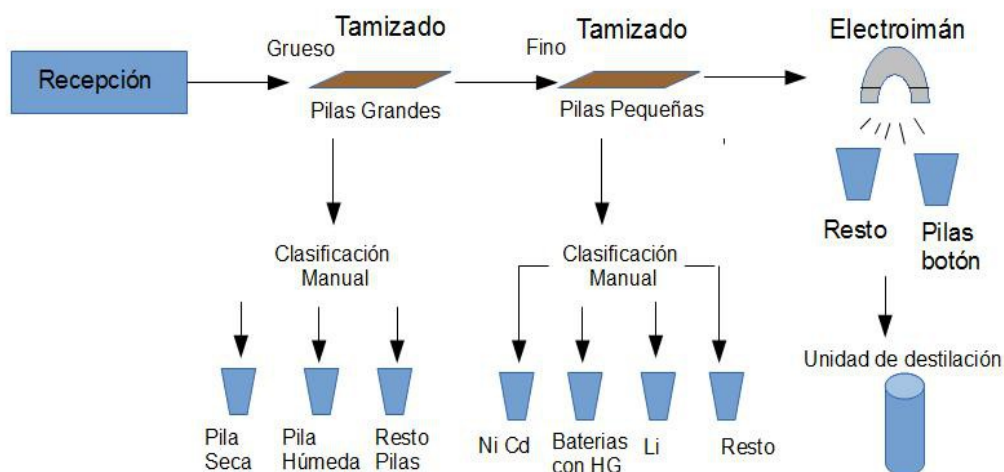


Figura 15. Clasificación de pilas

Fuente: Castells, Xavier. 2009

Una vez clasificadas las pilas, se utilizan dos procesos:

- *Proceso mecánico:* trituración de las pilas y obtención de fracción salina y de los materiales que constituyen la envoltura.
- *Proceso hidrometalúrgico:* especialmente diseñado para la recuperación de los elementos metálicos contenidos en la fracción salina de las pilas. Se recuperan en forma de disoluciones de elevada pureza, metales y sales re utilizables en otros procesos industriales (Figura 17). Este proceso se puede realizar vía húmeda (utilizando la lixiviación como principal técnica) o vía seca (utilizando tecnologías donde el calor es el desencadenante de las reacciones).

- Descripción del proceso hidrometalurgico de reciclado de pilas salinas y alcalinas:

Luego de separadas las pilas botón, el resto entra a un proceso de trituración. El residuo triturado, pasa por una mesa vibrante donde se separa la fracción gruesa: envoltorios, plásticos y papeles del resto.

La fracción fina, que es la que contiene los elementos contaminantes, es sometida a un proceso hidrometalurgico para recuperar los metales contenidos. El proceso esta diseñado para recuperar los elementos mayoritarios como el manganeso y el zinc. El polvo es conducido

³⁷ Castells, Xavier. Reciclaje de residuos industriales. 2009

a un reactor donde se le añade ácido. En el primer decantador se extrae, por el fondo, la mezcla de grafito y bióxido de manganeso³⁸.

Añadiendo reactivos y precipitadores se consigue formar un cemento que contiene Hg, Zn, Cu, Ni, Cd, etc. El líquido saliente pasa por un extractor líquido donde se segrega el agua para reciclarla de nuevo. Del líquido restante se sintetiza el sulfato de zinc y sales de manganeso. Esta tecnología permite valorizar hasta un 99% de los materiales de la pila. El procedimiento se puede ver en la figura 16³⁹.

- La recuperación del mercurio (Pilas botón):

Se realizará de acuerdo al procedimiento descrito anteriormente para recuperación de mercuriales.

- Baterías de automoción:

El objetivo del reciclaje de baterías de automoción es obtener plomo y otros subproductos, lo cual es relativamente fácil, por su volumen y composición, como se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 11. Composición de las baterías

Componente	% peso	Componente	% peso
Ácido sulfúrico	11	Polipropileno	5
Plomo metálico	34	Ebonita	3
Pasta	39	Vidrio y otros	0,5
Hierro	0,5	PVC y otros	7

Fuente: Castells, Xavier. 2009

* Considerar que aproximadamente del 60% del plomo del mercado se emplea en la fabricación de baterías, la segunda aplicación, con menos de un 10%, es la fabricación de pigmentos y colorantes.

El proceso de reciclaje es el siguiente:

- En primer lugar se vacía el electrolito, que suele tener una riqueza del 25-35% en SO_4H_2 (Dado el bajo precio de este ácido, de momento es inviable su aprovechamiento, por lo que se neutraliza con NaOH y se deposita en vertedero).
- Seguidamente el conjunto se tritura, se lava y, por flotación, se separa el plástico. (Este se vuelve a lavar, se tritura más y se vende).

38 Yeşilyur, Z et al. Recovery of Metals From WEEE, Used Batteries and Plastic Recycling-A Review. 2012.

39 Castells, Xavier. Reciclaje de residuos industriales. 2009

-
- Almacenamiento**
- Clasificación**
- Pilas y otros**
- Refrigeración**
- Trituración**
- Canaleja Vibratoria**
- Separación**
- Elementos férricos, no férricos, plásticos y papel
- Lavado con Agua**
- Férricos
- No Férricos
- Plástico
- Papel
- Almacenamiento y venta**
- Sistema de Lavado de Gases**
- Gases
- Atmósfera
- ácido
- Polos De Pilas**
- Filtro**
- Grafito y dióxido de manganeso
- Reactivos**
- Cemento metálico
Hg, Cu, Ni, Zn, Cd
- Purga**
- Extracción líquido-líquido
- Disolución de sulfato de zinc
- Evaporador Cristalizador**
- Sales de Manganeso
- Se reciben actualmente un promedio de 213,2 Kg/mes y un total de 2,6 Ton/año.**
- Se recupera hasta el 99% de la pila**

Impacto Ambiental:

El mayor impacto de tanto pilas como baterías, es su contenido de metales pesados que pueden ser liberados por lixiviación y generar afectaciones al suelo, recursos hídricos y los seres vivos por bioacumulación. Además son altamente tóxicos para la salud humana, al ingresar al organismo por ingestión o inhalación y se transporta por la corriente sanguínea acumulándose en todos los órganos, especialmente en los huesos.

Lo que permite este procedimiento, es evitar su mala disposición e incluso evitar el encapsulamiento de la totalidad del residuos, como se ha venido haciendo, para valorizar el metal que con tienen las pilas y baterías, recuperar papeles, plásticos y metales y así los costos de disposición final e impacto ambiental, serán menores.

6.3.4 Aceites Usados

Definición:

Aceite usado es todo aceite lubricante, de motor, de transmisión o hidráulico con base mineral o sintética de desecho que por efectos de su utilización, se haya vuelto inadecuado para el uso asignado inicialmente. Estos aceites son clasificados como residuo peligroso por el anexo I, numerales 8 y 9 del Convenio de Basilea.⁴⁰

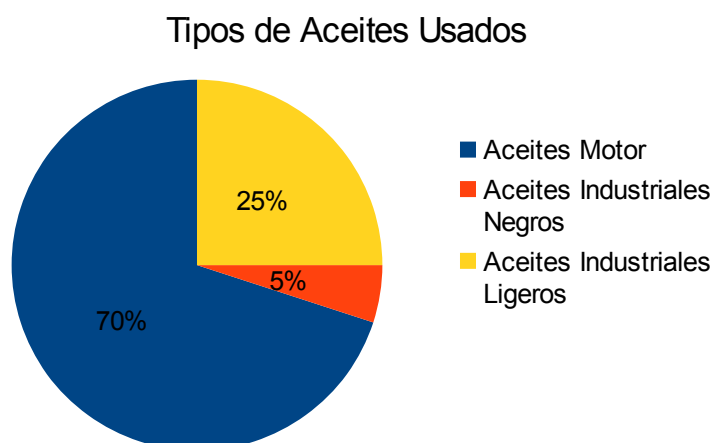


Figura 17. Tipos de Aceites Usados

Fuente: Castells, Xavier. 2009

Los aceites lubricantes están constituidos por una base lubricante y una serie de aditivos. En la siguiente tabla se muestra la composición típica de los aceites minerales⁴¹:

Tabla 12. Composición media de un aceite lubricante.

Composición media de un aceite lubricante	
Hidrocarburos totales (85 - 75%)	
Alcanos	45-76%
Cicloalcanos	13-45%
Aromáticos	10-30%
Aditivos (15 - 25%)	
Antioxidantes	Ditiofosfatos, fenoles, aminas
Detergentes	Sulfonatos, fosfonatos, fenolatos
Anticorrosivos	Ditiofosfatos de zinc y bario, sulfonatos
Antiespumantes	Siliconas, polímeros sintéticos
Antisépticos	Alcoholes, fenoles, compuestos clorados

Fuente: Martínez, J. Et al. 2005

⁴⁰ MADS. Resolución 1446 de 2005

⁴¹ Martínez, J. Et al. Guía para la gestión integral de residuos peligrosos. 2005.

Legislación Colombiana sobre el Tema:

Resolución 415 de 1998: Por la cual se establecen los casos en los cuales se permite la combustión de aceites de desecho y las condiciones técnicas para realizar la misma.

Resolución 1446 de 2005: Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 415 del 13 de marzo de 1998, que establece los casos en los cuales se permite la combustión de aceites de desecho o usados y las condiciones técnicas para realizar la misma.

Justificación:

La combustión de los aceites usados sin tratamiento están generando la degradación del medio ambiente, particularmente aquellos asociados con contenidos de metales como arsénico, cadmio, cromo, plomo y antimonio entre otros, que son emitidos a la atmósfera durante el proceso.

Recuperación de aceites usados:

De acuerdo a sus características, los aceites usados se pueden clasificar en:

- Aceites Usados sin contaminación
- Aceites contaminados con sólidos y líquidos separables (Recuperación)
- Aceites contaminados con sólidos y líquidos no separables (Valorización energética)

El Aceite usado puede aprovecharse materialmente, es decir, recuperarse, o puede aprovecharse energéticamente como combustible. Se estima que aproximadamente entre el 60 a 70% son recuperables nuevamente como aceites⁴², y que el resto pueden ser valorizables energéticamente. Los aceites usados más adecuados para la recuperación son aquellos que no están fuertemente contaminados, que tienen un alto índice de viscosidad y una ausencia de ésteres y biolubricantes

En lo anterior debe cumplirse con determinados criterios, que dependen del producto y de la carga respectiva con sustancias nocivas.

Para empezar el aceite debe ser caracterizado, almacenado, debidamente pesado y rotulado y separado según su grado de contaminación para llevarlo al tratamiento adecuado.

- Recuperación de aceites industriales ligeros contaminados con Sólidos y Líquidos separables:

Pasos:

- El aceite pasa el decantador para separar las partículas más grandes. También en este punto, se ha utilizado el paso a través de una malla con un mesh mayores a 25 micras que retiene algunos de los metales pesados posiblemente presentes.
- Calentamiento. La temperatura debe regularse de acuerdo a la cantidad, tipo de aceite y contaminante a procesar.
- Filtración al vacío que donde se retiran los compuestos ligeros presentes hasta un tamaño de 5 micras. El residuo obtenido en este proceso puede enviarse a una unidad de craqueo térmico para producir combustible.
- Neutralización y demulsificación.

42 BAT. waste treatment industries. 2006

- Calentamiento a 149°C. hasta alcanzar la temperatura de ebullición requerida para la separación de los líquidos presentes, con el fin de separar el compuesto de otras impurezas.
- Centrifugación. El material obtenido en esta etapa puede pasar nuevamente a la etapa de calentamiento y centrifugación para recuperar el 90% del material entrante⁴³.

El material evaporado sale por la parte superior del tanque hacia un sistema de condensación donde se recupera para almacenarlo posteriormente de manera segura. Los fangos contaminados que quedan en el tanque de centrifugación, se retiran y se llevan hacia un proceso de enfriamiento, donde según sus características fisicoquímicas pueden ser tratados o valorizados mezclándolos con asfaltos.

Según los estudios del IPPC⁴⁴, en el documento de Best Available techniques, el rendimiento de las plantas de recuperación de aceites usados puede estar entre el 55 y el 75%, sin embargo al recuperar también los subproductos residuales del proceso, este porcentaje puede aumentar. En el caso del esquema hasta un 90%. (Figura 10)

- Valorización de aceites contaminados con líquidos no separables:

De acuerdo a la normativa Colombiana,⁴⁵ el aceite usado destinado para valorización energética no podrá contener concentraciones de bifenilos policlorados (PCB) o terfenilos policlorados (PCT) mayores a 50 ppm ni concentración de halógenos totales (expresado como HCl) mayores a 1.000 ppm. Por lo cual, se requiere un pre tratamiento antes de utilizarlo.

- Destinado a la generación de electricidad en motores de cogeneración: los aceites deben someterse a un tratamiento fisicoquímico para eliminar agua, metales pesados, fangos y otros contaminantes.
- Destinados a usos de combustible alternativo para funciones de calentamiento. Los requerimientos para este caso son menores y pueden limitarse a eliminar fangos, agua y homogeneizar los diversos aceites. Se podrá emplear mezclado con otros combustibles, en una proporción menor o igual al 5% en volumen de aceite usado.
- Si las cantidades son menores y no es viable una inversión en un pre tratamiento, puede aplicarse el procedimiento de incineración de residuos en las instalaciones ya presentes en RH SAS.

Valorización de aceites en RH SAS:

En RH SAS llegaron en el último año una cantidad de 4.940 Kg/año, de las cuales según los estudios del BAT, un 65% pueden ser recuperados, es decir (3.211 Kg/año) y el restante 35% puede ser aprovechado energéticamente (1.729 Kg/año).

43 Castells, Xavier. Reciclaje de Residuos Industriales. 2009

44 Integrated Pollution Prevention and Control. European Commission.

45MADS. Resolución 1446 de 2005

Si de la cantidad de aceite usado recuperable (3.211 Kg/año), es recuperado el 90% con el proceso anteriormente descrito, entonces se estaría hablando de 2.890 Kg/año recuperadas, como se especifica en la tabla siguiente:

Tabla 13. Valorización de aceites RH SAS

RESIDUO	Kg/año	Media Mensual (Kg/mes)	Ton/año
ACEITES USADOS	4940,09	411,7	4,94
Recuperables 65%	3211	267,6	3,21
Recuperados 90%	2889,9	240,8	2,89
Valorización energética 35%	1729	144,1	1,73
Valorización Total	4618,9	384,9	4,62

Fuente: Elaboración propia con datos de RH SAS

En la siguiente Figura se muestra el proceso y el flujo de residuo a recuperar:

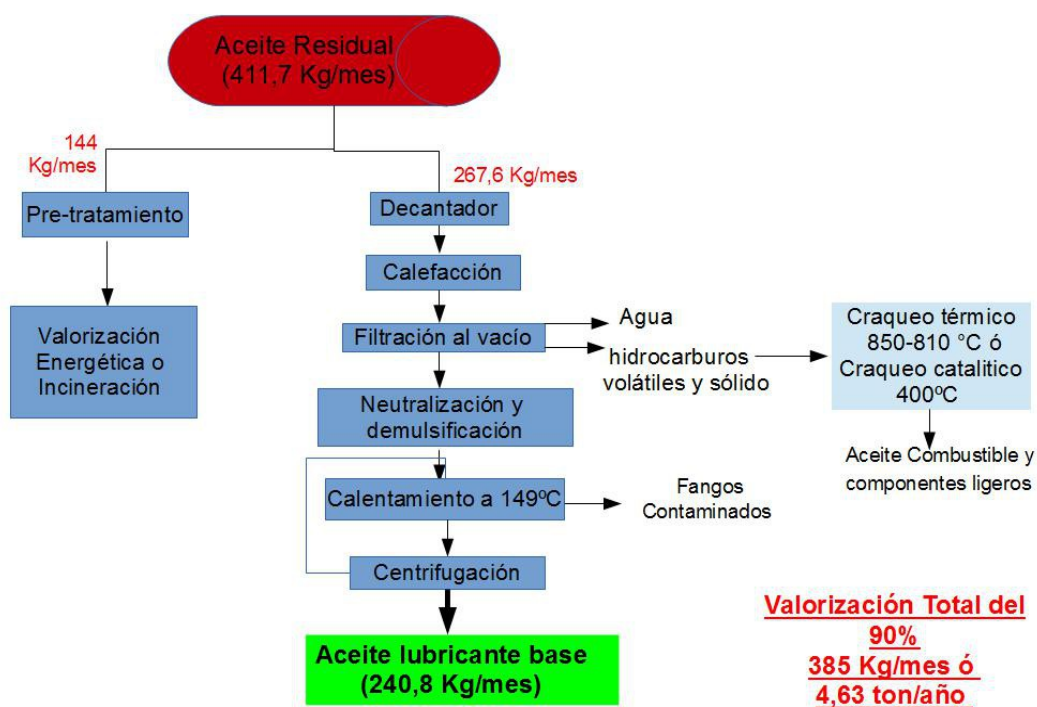


Figura 18. Esquema de valorización de aceites usados

Fuente: Martínez, J. Et al. 2005.

Impactos Ambientales:

Los aceites se consideran potencialmente peligrosos para el ambiente debido a su capacidad de esparcirse en grandes áreas de suelo y del agua, formando un film que no permite el ingreso de oxígeno, generando una rápidamente y significativa degradación de la calidad del ambiente. En el caso de los aceites usados existe el riesgo adicional de la liberación de los contaminantes tóxicos presentes como es el caso de los metales pesados⁴⁶.

Este procedimiento genera: Residuos volátiles de hidrocarburos y residuos líquidos en la fase de filtración al vacío, y un residuo fangoso al finalizar el tratamiento, sin embargo estos residuos líquidos pueden valorizarse utilizándose para el asfalto o disponerse finalmente en una celda de seguridad. Y el residuo sólido, puede seguir un tratamiento de craqueo térmico para generar combustible.

Las emisiones atmosféricas generadas en la valorización energética y/o incineración serán tratadas en el sistema de tratamiento de gases que tienen la empresa cumpliendo con la normativa vigente. Al ser un residuo peligroso puede tener impactos en la salud humana si no es manejado con cuidado con la dotación de seguridad respectiva.

46 Martínez, J. Et al. Guía para la gestión integral de residuos peligrosos. 2005.

6.3.5 Valorización de llantas usadas

Definición:

Una llanta es básicamente un elemento que permite a un vehículo desplazarse en forma suave a través de superficies lisas. Consiste en una cubierta principalmente de caucho que contiene aire el cual soporta al vehículo y su carga. En el proceso de vulcanizado, en la fabricación del neumático, el caucho es mezclado con otros productos (cauchos sintéticos, azufre y óxidos) y llevado a temperaturas que provocan cambios en su estructura química interna y en sus propiedades físicas, proceso que le da al caucho la resistencia y solidez necesaria.⁴⁷

Tabla 14 . Composición Media de las llantas⁴⁸:

Compuesto	%
Cauchos (natural o sintético)	47
Negro de humo (Como carga de refuerzo)	22
Acero (refuerzan y soportan las solicitaciones mecánicas)	16
Textiles (refuerzan y soportan las solicitaciones mecánicas)	5
Oxido de zinc (Catalizador en reacción de vulcanización)	1
Varios (S, ceras, antioxidantes, etc.)	9

Fuente: Cedaño. 2012.

Los neumáticos fuera de uso (NFU) o llantas usadas: Son todas las llantas que ha finalizado su vida útil y se ha convertido en residuo sólido.

Legislación Colombiana sobre el Tema:

Resolución 1457 de Julio 29 de 2010 “ Por la cual se establecen los sistemas de Recolección Selectiva y Gestión ambiental de llantas usadas y se adoptan otras disposiciones”

Justificación

En Colombia gran parte de las llantas luego de su uso, son almacenadas en depósitos clandestinos, techos o patios de casas de vivienda y en espacios públicos (lagos, ríos, calles y parques) con graves consecuencias en términos ambientales, económicos y sanitarios. Las llantas usadas se convierten en el hábitat ideal para vectores como las ratas y mosquitos, que transmiten enfermedades como el dengue, la fiebre amarilla y la encefalitis equina. Cuando las

⁴⁷ Cedaño, Valorización energética de residuos como combustibles alternativos en plantas cementeras. 2012.

⁴⁸ Castells, Xavier. Reciclaje de residuos industriales. 2009. pág. 1081.

llantas usadas se disponen en botaderos a cielo abierto, contaminan el suelo, los recursos naturales renovables y afectan el paisaje. Adicionalmente, generan dificultades en la operación en los rellenos sanitarios.

Algunos subsectores utilizan las llantas usadas como combustible en sus procesos productivos en forma inadecuada. Así mismo, grupos informales que forman parte de la cadena de llantas usadas, las queman a cielo abierto para extraer el acero, generando problemas de contaminación atmosférica;

Valorización de llantas fuera de uso

Debido a la complejidad del material y a que la “desvulcanización” no es factible para recuperar el caucho, existen dos métodos de gestión, el aprovechamiento del material triturado o entero en algunos casos o la valorización energética. Aunque probablemente, se deberán realizar las dos, de acuerdo a las experiencias que se tienen en países como España⁴⁹. El proceso de valorización se describe a continuación:

Reciclaje de llantas:

Esta sería la gestión más limpia y a la que deberían enfocarse los esfuerzos de las empresas gestoras. Las llantas usadas, aunque pueden ser utilizados enteros o semienteros, como barreras, anti ruido, taludes de carretera, estabilización de zona anegadas etc, el potencial de uso de estas es bajo, dado que no forma parte del portafolio de servicios de alguna empresa, y funciona más como casos específicos⁵⁰.

Lo más común, es utilizar el material granulado, la granulometría depende del uso que se le vaya a dar, pero se emplean por ejemplo, granulometrías de 1,5 y 3 mm para parques infantiles, pistas deportivas, para drenaje y amortiguamiento, y granulometrías mas pequeñas para mezcla asfáltica y demás propuestas de proyectos que se pueden presentar.

El procedimiento consiste en un un trocear las llantas a un tamaño de 10X10 cm aproximadamente, luego una separación de componentes metálicos, de con separadores magnéticos dispuestos sobre las cintas y para eliminar la parte textil, se suelen emplear cintas o bandejas vibratorias que originan el apelmazamiento de las fibras, que después se separan por tamizado u otros dispositivos⁵¹.

Primero se tritura el material, y dependiendo de la necesidad de granularlo más se realiza un proceso de molienda, de donde se obtiene el polvo neumático.

49 Bermejo, J. El reciclado de los neumáticos fuera de uso en España. 2012.

50 Elías, Xavier. Reciclaje de Residuos Industriales. 2009. Pág. 1082.

51 Cano, E, et al. Valoración material y energética de neumáticos fuera de uso. 2008.

En la siguiente tabla se pueden ver los compuestos obtenidos:

Tabla 15. Valorización de llantas usadas RH SAS

RESIDUO	Kg/año	Promedio (Kg/mes)	Ton/año
llantas usadas	6200	517	6,20
Cauchos (47%)	2914	243	2,91
Negro de humo (22%)	1364	114	1,36
Acero (16%)	992	83	0,99
Textiles (5%)	310	26	0,31
Oxido de zinc (1%)	62	5	0,06
Varios (9%)	558	47	0,56

Fuente: Cedaño. 2012.

Los materiales reciclables son el caucho triturado y el acero, para el compuesto textil todavía no se tiene aplicación específica por lo que puede ir a un relleno sanitario común.

Valorización Energética

Las llantas contienen más del 90% de materia orgánica y poseen un valor calorífico superior al del carbón, aproximadamente de 7.500 Kcal/Kg⁵². El valor de la energía que se puede obtener de él hace interesante esta opción.

Las instalaciones cementaras, han sido la opción mas utilizada para la valorización de NFU, porque permiten una valorización completa, de todos sus componentes.

El tratamiento térmico de neumáticos usados se subdivide en general en combustión(incineración), gasificación y pirólisis y presenta ventajas tales como:

- La posible reducción del volumen de NFU en más del 90%
- Producción de una energía neta con posible recuperación material
- Es un procedimiento en teoría no contaminante y capaz de destruir la mayor parte de las sustancias orgánicas que pueden ser perjudiciales para el medio ambiente y para el ser humano

La cantidad de NFU para remplazar el combustible principal debe ser parcial, y debe ser al rededor de un 10 a 20%. Considerar que 1 tonelada de neumático equivale a 1 tonelada de carbón de buena calidad o 0,7 toneladas de crudo.

La pirólisis de los NFU: permite obtener componentes valorizables como:

- Gases (CO, CO₂, CH₄, C₂H₄ e hidrocarburos livianos).
- Líquidos: cetonas, ácido acético, compuestos aromáticos y fracciones no pesadas.
- Sólido negro: residuo negro carbonoso (RNC) apto para el empleo como combustible o para la fabricación de “negro humo”

52 Bermejo, J. El reciclado de los neumáticos fuera de uso en España. 2012.

En la siguiente figura se describe el proceso de recuperación de llantas usadas o (NFU) y el flujo de este tipo de residuos para RH SAS

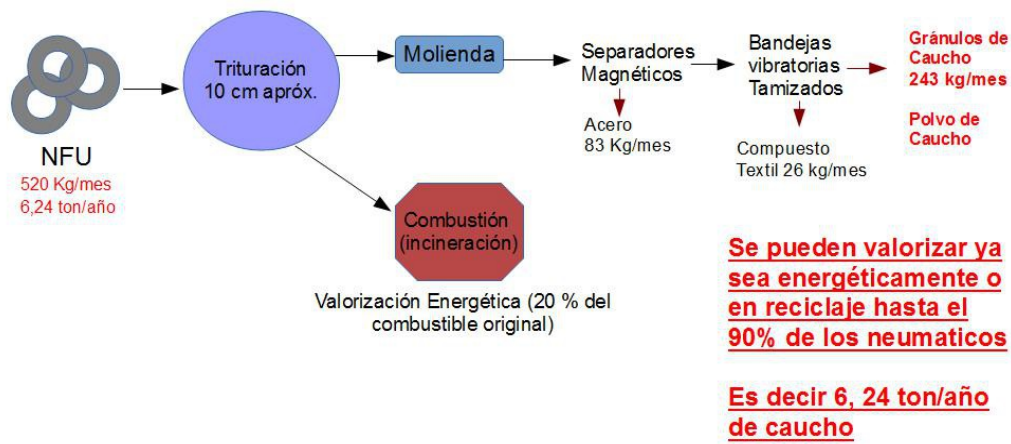


Figura 19. Valorización de Llantas Usadas

Fuente: Cedaño. 2012.

Impacto Ambiental

El impacto ambiental que tiene la mala gestión y disposición final de las llantas usadas es muy alto, tanto como si son depositados en vertederos como quemados a cielo abierto, causan contaminación atmosférica, al generar emisiones tóxicas para la salud humana o contribuir a la contaminación de suelos y proliferación de enfermedades cuando almacenan líquidos en su interior. El procedimiento, permite evitar este impacto, valorizando hasta un 90% del residuo.

6.3.6 Reciclaje de RAEE

Definición:

Aparatos eléctricos y electrónicos Aparatos eléctricos y electrónicos (AEE): Los materiales, componentes, consumibles y subconjuntos que los componen, procedentes tanto de hogares, particulares como usos profesionales a partir del momento que empiezan a ser residuos⁵³.

Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE): Son los aparatos eléctricos o electrónicos en el momento en que se desechan o descartan. Este término comprende todos aquellos componentes, consumibles y subconjuntos que forman parte del producto en el momento en que se desecha, salvo que individualmente sean considerados peligrosos, caso en el cual recibirán el tratamiento previsto para tales residuos.

Desde el punto de vista de la producción, comercialización y consumo, los aparatos eléctricos y electrónicos se han clasificado básicamente en tres grupos, bajo la denominación de:

- *Línea blanca:* electrodomésticos relacionados con las labores domésticas de conservación y preparación de alimentos y acondicionamiento térmico.
- *Línea marrón:* aparatos audiovisuales de uso doméstico.
- *Línea gris:* equipos utilizados en las tecnologías de la información y aparatos de telecomunicación.

Dentro de las cuales se pueden incluir los diversos equipos agrupados en 10 categorías⁵⁴:

1. Grandes electrodomésticos
2. Pequeños electrodomésticos
3. Equipos de informática y telecomunicaciones
4. Aparatos electrónicos de consumo
5. Aparatos de iluminación
6. Herramientas eléctricas y electrónicas
7. Juguetes y equipos deportivos o de ocio
8. Aparatos Médicos
9. Instrumentos de vigilancia y control
10. Maquinas expendedoras

Legislación Colombiana sobre el tema:

En Colombia el tema de los RAEE's esta en proceso de consolidación, después de dos proyectos de ley en el 2009⁵⁵, este año 2013, esta vigente la **ley 1672 del 19 de Julio de 2013** "Por la cual se establecen los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y se dictan otras disposiciones":

⁵³ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2013.

⁵⁴ Directiva RAEE Parlamento Europeo 2002/95/CE

⁵⁵ E-waste Colombia. Gestión de RAEE en Colombia. 2013.

Justificación:

El incremento en los últimos años del consumo de aparatos eléctricos y electrónicos, es evidente, ya sea para consumo de oficina u hogar. Así como aumenta el consumo aumenta la obsolescencia, lo que ha permitido crear esta nueva línea industrial: reciclaje de RAEE.

El reciclaje de RAEE, es una necesidad, por la cantidad de compuestos peligrosos que contienen, siendo algunos de estos: metales pesados (mercurio, plomo, cadmio y cromo, sustancias halogenadas (clorofluorocarbonos (CFCs), bifenilos clorados (PCBs), cloruro de polivinilo (PVC) y algunos retardantes de llama bromados), el amianto y el arsénico.

Sin embargo también puede ser también un negocio lucrativo por los componentes como oro y plata, en algunas piezas, así como en el reciclaje de plásticos, metales y vidrios.

A partir del Convenio de Basilea, muchos Países Europeos han ido incursionando en esta línea de reciclaje, sin embargo ninguno de los más de 30 sistemas colectivos de gestión de RAEE en Europa (representados en el WEEE-Forum) logra financiar su operación únicamente a través de la venta de los materiales. Todos requieren de una u otra forma fondos alternativos para cubrir ciertas partes de la cadena de reciclaje.

Reciclaje de RAEE:

Separación de material potencialmente peligroso:

La primera fase del proceso consiste en la separación exhaustiva de todos los componentes potencialmente peligrosos tanto en la línea blanca como la marrón. Los componentes o sustancias potencialmente peligrosas pueden encontrarse en:

- Condensadores que contengan policlorobifenilos (PCB)
- Componentes que contengan mercurio, por ejemplo, interruptores o bombillas con iluminación de fondo.
- Pilas y acumuladores
- Tarjetas de circuitos impresos para teléfonos celulares, en general, y otros dispositivos.
- Cartuchos de tóner, de líquido y pasta, así como tóner de color.
- Plásticos que contengan materiales pirotardantes bromados
- Residuos de amianto y componentes que tengan amianto
- Tubos de rayos catódicos
- Clorofluorocarburos (CFC), hidroclorofluorocarburos (HCFC), hidrofluorocarburos (HFC)
- Lámparas de descarga de gas
- Pantallas de cristal líquido de LCD (junto con su carcasa si procede)
- Cables eléctricos exteriores
- Componentes que contengan fibras cerámicas refractarias
- Componentes que contengan sustancias radioactivas
- Condensadores electrolíticos que contengan sustancias peligrosas⁵⁶

56 Castells, Xavier; Et, al. Reciclaje de Residuos Industriales. 2009

Los siguientes componentes de aparatos eléctricos o electrónicos recogidos por medio selectivos deberán someterse al tratamiento indicado.

- Tubos de rayos catódicos: deberá eliminarse el revestimiento fluorescente.
- Aparatos que contienen gases que agotan la capa de ozono o tienen un potencial de calentamiento global superior a 15. Estos gases tendrán un tratamiento específico, pueden encontrarse en espumas o circuitos de refrigeración.
- Lámparas de descarga de gas: se elimina el mercurio

Separación del material restante:

El sector de RAEE, se caracteriza por utilizar una gran variedad de plásticos en un solo producto, este material constituye aproximadamente un 20% del peso, pero contienen una problemática que son los aditivos retardantes de llama (BRF – brominated flamed retardant), la normativa Europea exige la separación de este material para ser tratado convenientemente. Los BRF más habituales son:⁵⁷

- Decabrodifenil éter, en HIPS de carcasas.
- Octabromodifenil éter, en resinas ABS
- Tetrabromobifenol A en resinas de ABS de placas de circuito.

El método para separar este tipo de plástico, es por flotación o separador de aire, por la diferencia de densidades.

- Casos Específicos:

Se describen los procesos de reciclaje de diversos tipos de RAEE, que difieren según sus componentes, y la conveniencia de reutilizar o reciclar el material, según el punto de vista ambiental se pueden tener tres grupos:

A. Equipos que contienen agentes refrigerantes, como frigoríficos, congeladores y aires acondicionados : Este tipo de equipos que contienen sustancias agotadoras de la capa de ozono (CFC's), están regulados por la Resolución 1652 de 2007, que prohíbe su importación y fabricación con este tipo de sustancias. Al no ser posible su tratamiento en Colombia, no se describirán en este documento.

B. Equipos que contienen pantallas, como televisores y monitores

C. Reciclaje de circuitos impresos

D. Resto de Equipos

B. Reciclaje de equipos que contienen pantallas: Las operaciones básicas son⁵⁸:

- Se desmontan los televisores y las pantallas se separan según su composición y calidad para luego ser trituradas.
- El cono de vidrio se perfora con cuidado para eliminar el vacío y conseguir que el aire entre dentro.

⁵⁷ Ibid.

⁵⁸ Ibid.

- Se separa el vidrio de la pantalla de vidrio del cono y se almacenan separadamente.
- Posteriormente se retira por aspiración el polvo fosforescente del vidrio de la pantalla
- Las carcasas de plástico o madera se trituran para su posterior reciclado o eliminación.

C. Reciclaje de circuitos impresos: Los circuitos impresos constituyen uno de los desechos más complejos de tratar. Su extracción de por sí es una labor ardua ya provenga de un aparato de la serie marrón, un TV o un PC. Una vez extraído, la primera operación consiste en una separación de los componentes voluminosos insertados en él como resistencias, potenciómetros, condensadores, etc. Entre ellos debe prestarse atención especial a los relés confeccionados con mercurio o a los antiguos componentes fabricados con amianto o bien a los acumuladores de Ni-Cd. Seguidamente el conjunto se tritura para su fase posterior.

El triturado se introduce en un reactor de pirólisis para destruir el soporte plástico. Este proceso presenta la ventaja que elimina, térmicamente, el soporte sin la presencia de aire lo cual evita la oxidación de los metales presentes. Estos se introducen en un horno de crisol donde funden y se elimina el resto de las impurezas no metálicas.

La última etapa es la separación de los metales, por procedimientos químicos convencionales y el afino de los mismos. Por regla general, la recuperación de los metales preciosos presentes, en especial oro, permite la viabilidad económica del proceso.

D. Reciclado del resto de aparatos eléctricos y electrónicos: Mediante el proceso de descontaminación se extraen si están presentes, los componentes peligrosos, como pilas, cartuchos de tinta, tóner entre otros. Luego se depositan los aparatos en una cinta transportadora que alimenta una cámara cerrada donde comenzará el proceso de trituración y fragmentación.

Este material ya fragmentado pasa a la línea de selección donde por medio de sistemas automáticos y/o manuales se realiza la selección del material valorizable separándolo del rechazo. Se clasifican los diferentes materiales por tipos (hierro, aluminio, cables, plástico, tarjetas etc). Que posteriormente pasarán a gestores recuperadores externos autorizados.

- Composición de los materiales obtenidos valorizables:

Se tiene estimado un % de valorización para algunos materiales como se muestra a continuación. Se destaca la valorización de las tarjetas electrónicas por su contenido de metales de alto valor como oro, plata, paladio y otros:

- Hierro (28%)
- Vidrio pantalla (11%)
- Plásticos (0,47%)
- Finos metálicos (8%)
- Transformadores (4%)

- Rosetas deflectoras (3%)
- Tarjetas electrónicas (3%)
- Cables (2%)
- Aluminio (2%)
- Acero inoxidable (0,2%)
- Baterías de plomo (2%)
- Cobre (4%)
- Cobre y latón (2%)
- Compresores aa/cc (1%)
- Cartuchos T y tóner (0,13%)
- Vidrio TCR con plomo (9%)

Los materiales no aprovechables deben tener su adecuada gestión en disposición final, sin embargo, algunos de ellos como la madera y los plásticos pueden valorizarse enigmáticamente con las instalaciones adecuadas.

Reciclaje de RAEE en RH SAS

Aunque el porcentaje de reciclaje depende de los aparatos recibidos, según los objetivos de valorización de la Directa RAEE para Europa debería ser de aproximadamente el 73,8% de la siguiente forma:

Tabla 16. Recuperación de RAEE

RESIDUO	Kg/año	Promedio (Kg/mes)	Ton/año
RAEE	6934,25	577,9	6,93
Hierro (28%)	1941,6	161,8	1,94
Vidrio pantalla (11%)	762,8	63,6	0,76
Plásticos (0,47%)	32,6	2,7	0,03
Finos metálicos (8%)	554,7	46,2	0,55
Transformadores (4%)	277,4	23,1	0,28
Rosetas deflectoras (3%)	208,0	17,3	0,21
Tarjetas electrónicas (3%)	208,0	17,3	0,21
Cables (2%)	138,7	11,6	0,14
Aluminio (2%)	138,7	11,6	0,14
Acero inoxidable (0,2%)	13,9	1,2	0,01
Baterías de plomo (2%)	138,7	11,6	0,14
Cobre (4%)	277,4	23,1	0,28
Cobre y latón (2%)	138,7	11,6	0,14
Compresores aa/cc (1%)	69,3	5,8	0,07
Cartuchos T y tóner (0,13%)	9,0	0,8	0,01
Vidrio TCR con plomo (9%)	624,1	52,0	0,62
RECICLAJE TOTAL (73,8 %)	5533,5	461,1	5,53
Material de desecho (26,2%)	1400,7	116,7	1,40

Fuente: Castells, Xavier; Et, al. 2009

En la siguiente figura, se puede ver el proceso de recuperación de RAEE y el flujo de residuos RAEE para RH SAS

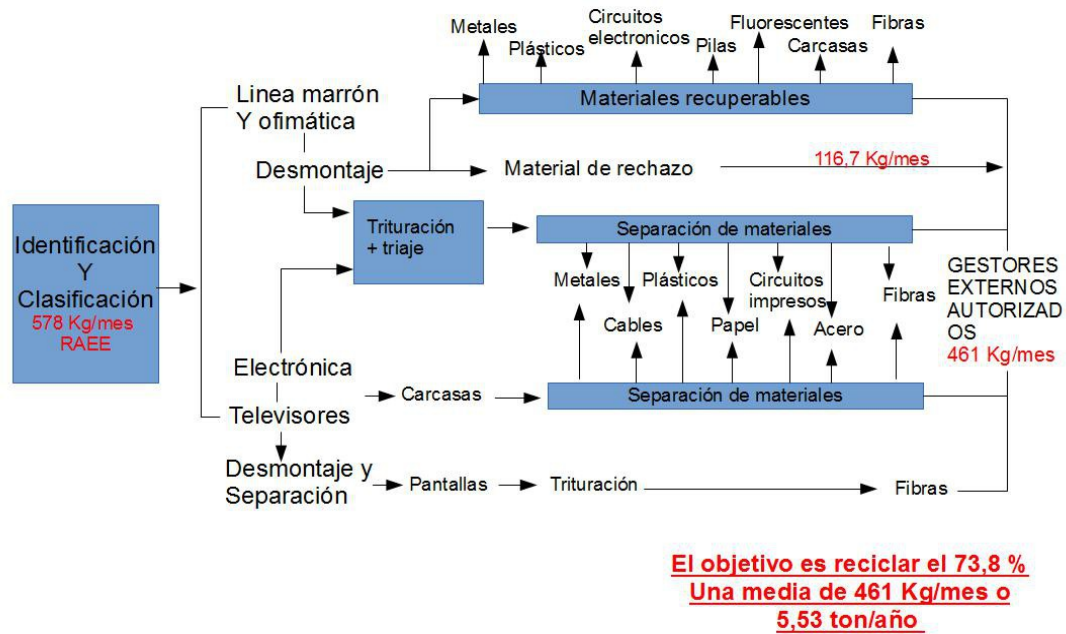


Figura 20. Esquema General de una planta de reciclaje de equipos electrónicos.

Fuente: Castells, Xavier; Et, al. Reciclaje de Residuos Industriales. 2009

Impactos Ambientales:

Tanto los AEE como los RAEE, están asociados a un importante impacto ambiental por razones como:

- Presencia de determinadas sustancias peligrosas que pueden ser liberadas al ambiente y, por tanto, suponen un peligro de contaminación de suelos, aire, agua y seres vivos.
- Importante impacto energético tanto en la fase de fabricación como de uso, como de desecho.
- Elevada cantidad de materias primas necesarias para su fabricación.

6.3.7 Valorización energética: Combustibles derivados de residuos (CDR)

Definición:

CDR: Combustibles derivado de residuos, es una forma de recuperar los residuos, recuperando su energía. Es un término que se aplica a los materiales con alto poder calorífico (es decir, materiales capaces de liberar un alto porcentaje de energía cuando se queman) que se extraen de flujos de residuos y se utilizan como combustible.

En este proceso se pueden utilizar tanto residuos peligrosos como no peligrosos, existen muchos avances utilizando residuos sólidos urbanos (RSU), y algunos residuos industriales. En Europa, este tipo de combustible está sometido a la especificación técnica CEN/TS 15359⁵⁹, donde la principal preocupación es garantizar que el CDR tenga un contenido en Cloro muy bajo, normalmente por debajo del 0,5% en peso y cumplir unas especificaciones mínimas como:

- PCI: > 4.000 Kcal /KG
- % humedad: < 15%
- Granulometría: < 25 MM
- Dichas especificaciones pueden variar en función del uso que se dé al CDR⁶⁰.

Justificación:

En cuanto los residuos comunes, que tienen un gran porcentaje de orgánicos /fermentables, se ha estudiado que hacer el compost, no es algo rentable y el biogas es muy costosa su producción y genera un gran problema que son los lodos residuales. Por lo que se ha optado por la valorización de este residuo como CDR.

Aunque la valorización de residuos debe primar el reciclaje, siempre hay un porcentaje que no puede ser reciclado por lo tanto su valorización energética es una buena opción, sobre todo si se trata de residuos con alto poder calorífico. Entre algunos beneficios se encuentran:

- reducción de residuos en el vertedero
- reducción en el consumo de combustibles fósiles
- La sustitución de energías fósiles por CDR permite la reducción de emisiones de CO2 con el consiguiente beneficio medioambiental.
- Reducción en costos de disposición final y consumo energético

Legislación Colombiana sobre el tema:

Actualmente en Colombia no existe una legislación sobre el tema.

⁵⁹ Comité Europeo de Normalización. CEN/TS 15359. 2013

⁶⁰ Gonzales, J. Viabilidad técnica, económica y medioambiental de los diferentes procesos. CONAMA. 2010.

Proceso CDR:

El CDR es producido mediante la trituración, separación y deshidratación o secado de los residuos.

- **Trituración y separación de residuos:** Separación mecánica del flujo de residuos en una fracción de alto poder calorífico y otra de bajo poder calorífico. Este proceso implica una trituración previa, una criba y una clasificación de los residuos. Los metales se extraen y se queda el producto ligero (húmedo) altamente calorífico (CDR).
- **Secado de CDR:** El producto húmedo debe ser secado. Existen diferentes tecnologías que realizan este procedimiento, La compañía Alemana Vanderbroek, maneja un horno rotativo, que a una temperatura entre 230 y 300°C, seca el residuo, dejándolo tan solo con un contenido de humedad del 10%. Esta tecnología se caracteriza por una mezcla turbulenta del producto mojado con el flujo de aire caliente. Esto se hace por medio de un paso multidimensional y en forma de espiral del aire y del flujo de producto mojado a través del tambor. Los olores se pueden eliminar mediante depuradores químicos, biofiltros u oxidantes térmicos regenerativos (RTO).

En este proceso, se utilizarán los residuos biomedicos previamente esterilizados, y las fracciones no reciclables o recuperadas de medicamentos, residuos comunes etc.

Para tener una idea de cual es la cantidad de CDR que se puede generar a partir de residuos biomédicos, es necesario estimar su % de humedad, (será necesario luego hacer una caracterización del residuo y tener estos datos precisos. Al tener un estimado de la composición del residuo biomédico y el % de humedad que cada fracción contiene, se puede estimar el % de humedad total, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 17. Determinación de la humedad para residuos biomédicos de acuerdo a su composición:

Tipo de residuo (en Biomédicos)	% Composición	% Humedad	% humedad re- specto al total
Plásticos	45,5	Mayor al 2%	0,91
Materia Orgánica	36,5	70	25,55
Papel	11,5	6	0,69
Textiles	2,7	10	0,27
Cartón	2,3	5	0,11
Vidrio	1	Mayor al 2%	0,002
Metal	0,5	Mayor al 2%	0,001
TOTAL	100,00%	97,00%	27,55%

Fuente: Castell, Xavier. 2005

Al conocer el % de humedad, se puede calcular el % de residuo sólido resultante luego del proceso de secado como lo muestra la tabla siguiente.

Se realiza el cálculo asumiendo que los residuos biomédicos tienen un 27% de humedad y los residuos comunes al estar compuesto mayormente por residuos orgánicos tienen un 70 % de humedad.

Tabla 18. Generación de CDR a partir de Residuo biomédico seco

Mes	Biomédicos Kg /mes	72,5% Kg (sin humedad)	Metal (0,5%)	Vidrio (1%)	CDR Ton/año
ENERO	188.224	136462,4	941,1	1882,2	133,6
FEBRERO	245.421	177930,2	1227,1	2454,2	174,2
MARZO	258.955	187742,4	1294,8	2589,6	183,9
ABRIL	243.406	176469,4	1217,0	2434,1	172,8
MAYO	243.480	176523,0	1217,4	2434,8	172,9
JUNIO	214.748	155692,3	1073,7	2147,5	152,5
JULIO	250.989	181967,0	1254,9	2509,9	178,2
AGOSTO	201.590	146152,8	1008,0	2015,9	143,1
SEPTIEMBRE	232.678	168691,6	1163,4	2326,8	165,2
OCTUBRE	237.952	172515,2	1189,8	2379,5	168,9
NOVIEMBRE	258.816	187641,6	1294,1	2588,2	183,8
DICIEMBRE	205.862	149250,0	1029,3	2058,6	146,2
TOTAL	2.782.121	2017037,7	13910,6	27821,2	1975,3

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Castells, Xavier. 2005

Tabla 19. Generación de CDR a partir de Residuo común/orgánico seco

Mes	Res. Comunes Kg Mes	30% Kg Sin humedad *	Total (Ton/mes)
ENERO	41.115	12334,5	12,3
FEBRERO	40.182	12054,6	12,1
MARZO	44.319	13295,7	13,3
ABRIL	43.751	13125,3	13,1
MAYO	42.905	12871,5	12,9
JUNIO	31.448	9434,4	9,4
JULIO	26.912	8073,6	8,1
AGOSTO	27.859	8357,7	8,4
SEPTIEMBRE	34.109	10232,7	10,2
OCTUBRE	36.982	11094,6	11,1
NOVIEMBRE	35.975	10792,5	10,8
DICIEMBRE	36.289	10886,7	10,9
TOTAL	441.846	132553,8	132,6

* 70 % de contenido de agua en MO

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Castells, Xavier. 2005

Las tablas anteriores muestran que aproximadamente se podrían producir **2.018 ton/año de CDR**. Sin embargo es importante conocer también el PCI (Poder calorífico) de este CDR para poder estimar la cantidad de energía que puede generarse y así utilizarla y/o venderla a empresas de la zona.

El calculo del PCI, se realiza asumiendo que el PCI de los residuos es la siguiente⁶¹:

- Plástico.....10.100 Kcal/Kg
- Materia Orgánica.....997 Kcal/Kg
- Papel.....4.430 Kcal/Kg
- Textil.....3.600 Kcal/Kg
- Cartón.....3.913 Kcal/Kg
- Vidrio.....0 Kcal/Kg
- Metal.....0 Kcal/Kg

Este valor es calculado incluyendo el % de humedad, el cual es descontado en el calculo del PCI Total como se ve en la siguiente tabla:

Tabla 20. Poder Calorífico de los residuos

Tipo de residuo (en Biomédicos)	PCI (Kcal/Kg)	PCI (Kcal/Kg) respecto al total
Plásticos	10100	4503,6
Materia Orgánica	997	109,2
Papel	4430	478,883
Textiles	3600	87,48
Cartón	3913	85,49905
Vidrio	0	0
Metal	0	0
TOTAL		5264,62

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Castells, Xavier. 2005

Se obtiene que los residuos biomédicos tienen un PCI De 5.264,6 Kcal/Kg y los residuos comunes (materia orgánica un PCI de 109,2 Kcal/Kg). Convirtiendo estos valores a kWh con un conversor de unidades de energía⁶², se obtiene que:

5.246 Kcal/Kg de Residuos biomédicos x 1975, 3 Ton/año de residuos = 10.399.242 Kcal Totales, que equivalen a : 12.094,3 kWh

997 Kcal (Residuos orgánicos) x 132,6 ton/año de residuos = 39.633,4 Kcal Totales que equivalen a: 40,09 kWh.

61 Castell, Xavier. Tratamiento y valorización energética de residuos. 2005

62 Hainke, Thomas. Convertidor de unidades. 2013

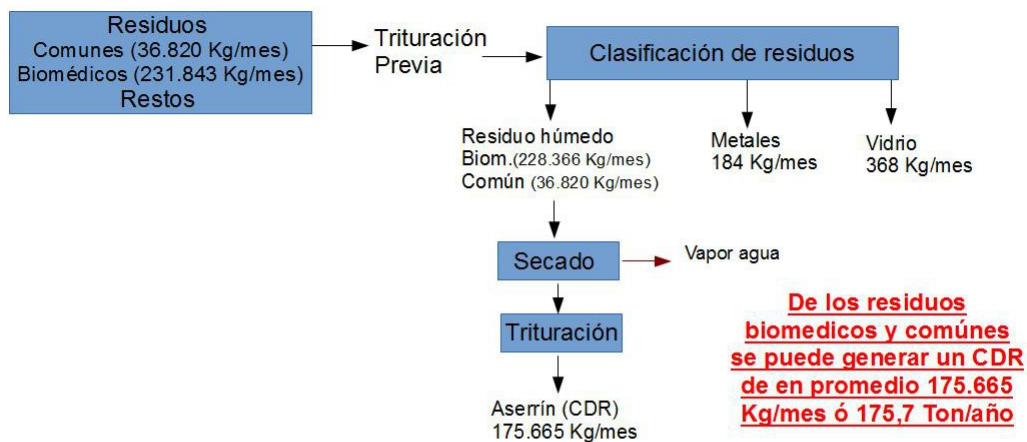


Figura 21. Generación de CDR

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Castells, Xavier. 2005

Impacto Ambiental:

La idea de valorizar enérgicamente los residuos, permite terminar de cerrar un ciclo, y evitar llevar estos residuos a el vertedero. Sin embargo el proceso, genera olores muy fuertes que deben tratarse con filtros, y también después de su combustión generan cenizas que deben disponerse finalmente, por esta razón el aprovechamiento de los CDR en cementaras es ideal, ya que las cenizas son reutilizadas en el klinker. Logrando así un residuo cero.

6.4 Resultado Final

Valorización de Residuos:

Con la implementación de los anteriores tratamiento de recuperación /valorización se obtienen una **valorización del 80,7 % del total de los residuos** como se muestra en la siguiente tabla. Sin embargo en algunos procesos como en solventes, aceites usados, existe una diferencia entre una parte que es recuperada, y que puede utilizarse nuevamente para el mismo fin, (aceites y solventes) y otra parte que no es recuperada pero es valorizable energéticamente, por lo tanto se toma que la valorización del residuo es casi del 100%. Ver Tabla 20.

Tabla 21. Valorización Total de Respel propuesta

RESIDUOS VALORIZADOS			
RESIDUO	Recibidos (ton/año)	Recuperados Ton/año	% Recuperación
Solventes	102,5	77,2	75%
Mercuriales	12,5	12,2	99%
Pilas y baterías	2,6	2,5	99%
Aceites Usados	4,9	2,9	59%
llantas usadas	6,2	6,2	99%
RAEE	6,9	5,5	73,8%
CDR (biomédicos y comunes)	3224	3224	99%
TOTAL VALORIZADO (Ton/año)	3359,6		100%
TOTAL RECUPERADO (Ton/año)	3330,5		99,10%
TOTAL RESIDUOS RECIBIDOS	4162		80,70%

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados obtenidos

También se puede analizar de este resultado que el mayor % de valorización en relación al total de residuos esta representado por la generación de **CDR** a partir de residuos biomédicos esterilizados y residuos comunes con un **77,4%**. Y el % de valorización restante **2,3 % corresponde a los residuos industriales – Respel**. Sin embargo se debe considerar que la empresa ha ido incursionando poco a poco en el tratamiento de residuos industriales, ya que lleva 16 años posicionándose en el mercado de tratamiento de residuos exclusivamente hospitalarios, así que empezar a valorizar los residuos industriales seria un paso para ampliar este mercado.

El flujo de residuos propuesto, resultaría como se muestra en la Figura 22:

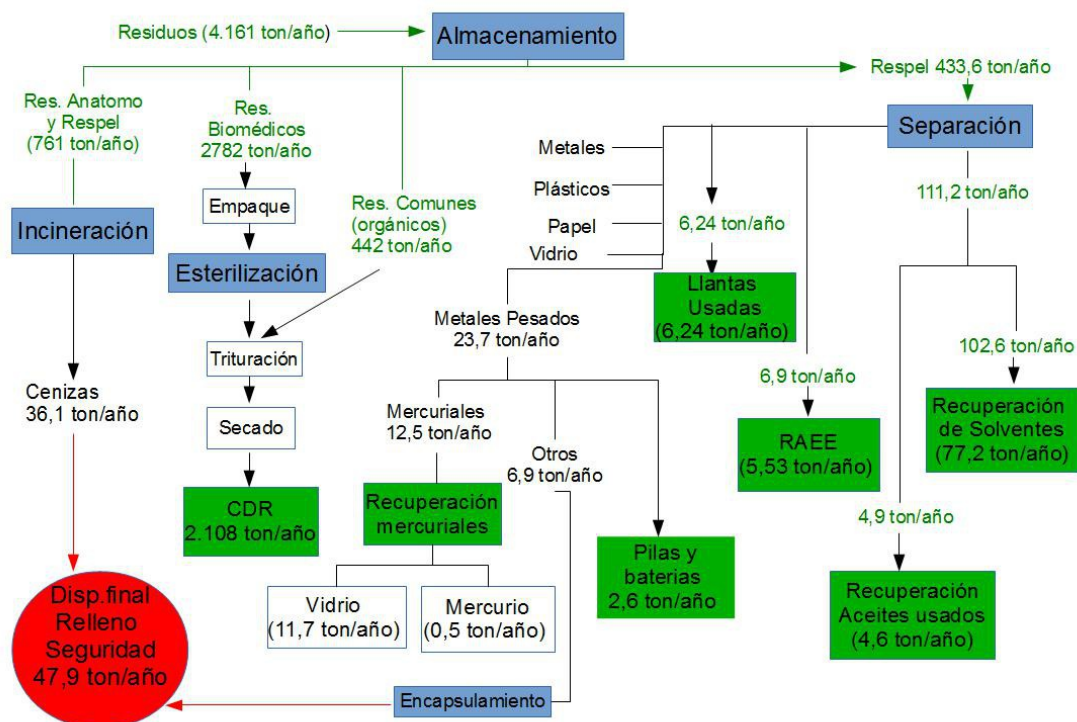


Figura 22. Flujo de residuos propuesto para RH SAS

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados obtenidos

Para evaluar los beneficios de implementar los tratamientos anteriormente descritos, se utilizarán las relaciones críticas anteriormente analizadas y se compararán de su estado actual al estado propuesto. Debido a la complejidad del trabajo, esta evaluación se centra en costos energéticos (no incluyen costos de recolección, transporte, almacenamiento, mantenimiento etc), las emisiones generadas por este consumo energético y los costos de disposición final como se describe a continuación:

Consumo energético:

A continuación se analizan los beneficios en cuanto a disminución de consumo energético y el costo del mismo, y la disminución consiguiente de emisiones de CO₂ y disminución en costos de disposición final.

La siguiente tabla muestra que al valorizar 129,4 ton/año, es decir el total de los residuos valorizados a excepción de las 3224 ton/año de residuos biomédicos que deben ser esterilizados, y los residuos comunes que al no tener tratamiento no tiene un consumo de energía de tratamiento, se están ahorrando en consumo de energía un total de **30.888.758,64 COP**, o **11.789 Euros** al año.⁶³

Tabla 22. Ahorro en COP de consumo energético

COSTOS DE TRATAMIENTOS					AHORRO	
PROCESO	Ton/año Residuos	Consumo	Valor (COP)	Valor COP/Ton residuo	Valoración Total (Ton/año)	Valor Ahorrado
Incineración	869	276.969 M3 Gas	246.759.834,00 COP	283.958,38 COP	107,44	30.497.130,23 COP
Esterilización	2782	38.538 kWh	15.415.200,00 COP	5.541,05 COP	-	-
Destrucción	82,1	4.664 kWh	1.886.084,00 COP	17.793,25 COP	22,0	391.628,41 COP
Encapsulamiento	23,7					
TOTAL	3.757		262.175.034,00 COP	289.499,43 COP		
TOTAL AHORRADO EN COSTOS ENERGÉTICOS						30.888.758,64 COP
						Ahorro del 11.8 %

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos

Además de disminuir el costo energético, se está produciendo un CDR (Combustible derivado del residuo) que puede ser transformado en energía como se describió anteriormente y si se utilizara para autoabastecer la empresa, se tendría un porcentaje de energía renovable del **9%**, de la siguiente forma:

Consumo energético Actual133.125 kWh/año

Energía generada por el CDR (2.108 ton/año)12.134 kWh/año (9% del consumo energético actual)

Sin embargo, se debe considerar que la empresa, tiene entre sus proyectos a mediano plazo, realizar una recuperación térmica del proceso de incineración, y hacer una microgeneración de energía renovable con este calor. La cantidad que puede generarse no se conoce con exactitud aunque de acuerdo a las asesorías ya realizadas con expertos en el tema, sería suficiente para abastecer gran parte de la energía consumida actual.

⁶³ De acuerdo al cambio oficial, 1 euro = 2.620 COP

Por lo tanto la mejor opción sería vender este material a industrias cercanas que requieran de combustible, como las cementeras.

Emisiones atmosféricas:

De igual forma se calculan las emisiones de CO₂ eq evitadas, al dejar de tratar estos residuos y en cambio valorizarlos. El resultado es que al sustituir los tratamientos de incineración y destrucción /encapsulamiento, se esta evitando emitir a la atmósfera **7.368 Ton de Co₂ eq** por año, lo que representa un **ahorro del 12,3 %** como lo enseña la siguiente tabla.

Tabla 23. Emisiones de CO₂ eq evitadas por tipo de tratamiento

EMISIONES ASOCIADAS AL CONSUMO ENERGETICO						AHORRO
PROCESO	Ton/año Residuos	Consumo	Factor de emisión	Emisiones Asociadas Kg CO ₂ eq/año	KgCO ₂ /ton residuo	Kg CO ₂ eq Ahorrado
Incineración	869	276.969 M3 Gas	2,15 Kg CO ₂ e/m3 Gas natural	59.548.335	68.525	7.368.072
Esterilización	2782	38.538 kWh	0.2849 kg CO ₂ e/kWh	10.979	3,9	-
Destrucción y encapsulamiento	105,8	4.664 kWh	0.2849 kg CO ₂ e/kWh	30	0,3	6,3
TOTAL	3756,8			59.559.345	68.529	7.368.078
						Ahorro del 12,3 %

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos

Las emisiones que podrían generar los nuevos procedimientos propuestos, no estan cuantificadas, porque se requiere otro trabajo extenso para cuantificar estos valores, sin embargo, ninguna tiene un proceso de combustión como la incineración que es la mayor causante de emisiones de GEI, por lo cual, puede tomarse como que son un valor menor al actual.

Disposición final:

También se hace un cálculo de cuanto es el costo evitado de disposición final, considerando que los residuos no valorizados, son o dispuesto en Relleno de seguridad, relleno Sanitario o tercerizados. Como se ve en la siguiente tabla.

Tabla 24. Costos de disposición final evitados

COSTOS DE DISPOSICIÓN FINAL EVITADOS		
RESIDUO	Precio (Pesos x Ton)	Costo Disposición Final
Solventes 102,5 ton/año Genera, 4,9 ton/año de cenizas	644.000,00 COP	3.155.600,00 COP
Mercuriales	10.000.000 COP	125.000.000 COP
Pilas y baterías	10.000.000 COP	26.000.000 COP
Aceites Usados	330.000 COP	1.617.000 COP
Ilantas usadas	300.000 COP	1.860.000 COP
RAEE	644.000 COP	4.443.600 COP
CDR (biomédicos y comunes)	21.246 COP	68.497.104 COP
AHORRO DISPOSICIÓN FINAL		230.573.304 COP
DISPOSICION EN EL 2012		331.695.655 COP
Ahorro del 69,5 %		

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos

Además de obtener un ahorro significativo en la disposición final de estos residuos, también se estarían generando ingresos en la venta de los materiales obtenidos como:

Tabla 25. Subproductos generados en la valorización de residuos

SUBPRODUCTOS GENERADOS		
Residuo	Subproducto generado	Cantidad (Ton/año)
Solventes	Solvente recuperado	77,2
Mercuriales	Mercurio recuperado	0,5
	Vidrio limpio	11,7
Pilas y baterías	Material Férrico	-
	Material no Ferrico	-
	Plástico triturado	-
	Sales de manganeso	-
	Cimiento metálico (Hg, Cu, Ni, Zn, Cd)	-
Aceites Usados	Aceite Recuperado	4,6
Ilantas usadas	Caucho triturado	2,9
	Acero	1
RAEE	Hierro	1,94
	Plásticos	0,03
	Aluminio	0,14
	Cobre	0,28
CDR	Combustible	2107,8
	Vidrio limpio	27,8
	Metal	13,9
TOTAL		2.250

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos

Estos materiales pueden ser parte de flujo de subproductos que pueden ser aprovechados por las empresas de la zona que se presentaron con anterioridad y ser el primer paso para un intercambio de subproductos entre ellas.

6.5 Análisis de Beneficio/Costo

Beneficios:

La implementación de las anteriores tecnologías representan numerosos beneficios para la empresa, dentro de los cuales se destacan:

- **Aumentan su capacidad de tratamiento.** Actualmente se recibe más cantidad de residuos de los que la empresa puede tratar, tanto por capacidad como por que no se cuenta con la tecnología apropiada para su tratamiento lo que lleva a que se tenga que llevar a otras empresas (tercerizar).
- **Permite abrir nuevos mercados.** La empresa esta muy bien posicionada en el sector hospitalario, pero lleva solo dos años abriendo mercado en el sector industrial, ampliar el portafolio de tratamientos puede ser muy atrayente para otras industrias.
- **Mejora su imagen.** De ser posible el proyecto , la empresa pasaría a convertirse en el primer centro de de valorización de residuos industriales y peligrosos de Colombia, y no solo en una empresa de tratamientos de final de tubo, y fortalecería la imagen que ya tiene de ser una empresa responsable con el medio ambiente.
- **Disminuye costos energéticos y de disposición final.** Como se vio anteriormente la tasa de ahorro es significativa, solo considerando estos dos indicadores se ahorran hasta 261.462.062 millones de pesos (COP) al año. O 99.800 euros aproximadamente.
- **Disminución en la generación de emisiones de Gases efecto invernadero (GEI).** Al disminuir la cantidad de residuos incinerados y generar un material de energía renovable con el CDR, se contribuye a disminuir las emisiones de GEI (73.680 ton CO2 eq/año), lo cual es una prioridad para las autoridades ambientales, porque es uno de los mayores problemas que acarrea este sector industrial de Acopi – Yumbo.
- **Eleva su competitividad.** Por todas las razones anteriormente expuestas, es un proyecto que de ser posible y en colaboración con las empresas del sector, podrian ser competitivo ante grandes multinacionales que actualmente estan llegando a Colombia a ciudades como Bogotá y Medellín para posicionarse en el campo de la gestión de residuos.

Además de los beneficios específicos para la empresa, también se generan beneficios externos como:

- Generación de nuevas fuentes de trabajo
- Mejorar relaciones con empresas del sector.
- Lograr priorizar la valorización y el aprovechamiento que actualmente es del 21%, a nivel nacional, ante el tratamiento de final de tubo y la disposición final.

Costos:

Los dos indicadores estudiados, costos de tratamiento y costos de disposición final, demuestran un ahorro importante (261 millones de pesos), sin embargo se requiere un estudio más a profundidad del costo de cada una de las tecnologías propuestas para tener un presupuesto concreto.

La selección de tecnología requiere de un estudio detallado de cada una, además de la capacidad de pago y las decisiones que tome la empresa, por lo cual no se cubre este trabajo.

Pero se conoce que los costos de la tecnología son elevados, lo que requiere que se realicen por etapas, y que se presente ante el Estado para su posible financiamiento. Teniendo en cuenta que los beneficios generados hacen parte de los objetivos de la Política Nacional de Gestión de residuos peligrosos, y que es un claro ejemplo de iniciativas encaminadas hacia el desarrollo sostenible del país.

Estas ayudas, claramente son más factibles de recibir cuando es una iniciativa de parte de un gremio, como pueden ser las empresas del sector de Acopi – Yumbo.

7. DISCUSIÓN

En el país, todavía predomina la incineración como el tratamiento más utilizado para los residuos peligrosos (Respel), sin embargo, aunque para algunos tipos de residuos (anatomopatológicos) es obligatorio su incineración, para muchos otros no, y al ser un tratamiento que genera grandes cantidades de gases efecto invernadero (GEI), es preciso buscar alternativas de tratamiento, que permitan recuperar, aprovechar y valorizar estos residuos.

Este trabajo realizó una revisión de tecnologías actuales, para recuperación de diferentes compuestos de los residuos que se reciben en mayor cantidad en la empresa, para darles una alternativa de valorización. Como resultado se obtiene una valorización de caso el 80% de los residuos, sin embargo uno de los mayores y quizá más importantes puntos para considerar son los costos de esta tecnología, muchas de las alternativas que encontré son con tecnología alemana, pero se podría hacer una revisión más adelante sobre que alternativas se encuentran en el país.

También se resalta que esta primera revisión de alternativas, se realizó a nivel firma, con la intención de liderar un proyecto que integre a las empresas del sector, este mismo trabajo podría realizarse con cada una de las empresas, para identificar la posibilidad de funcionar en simbiosis en cuanto a flujo de residuos, energía y quizás agua). La idea, con esto es que se disminuyan costos, impactos ambientales y que pueda ser más fácil un proceso de financiamiento por parte del Estado como lo han demostrado otros proyectos a nivel mundial.

Los resultados que se obtienen, permiten cambiar la figura de la empresa de tratamiento de residuos peligrosos a un eco-parque de residuos peligrosos, considerando este último como un centro de reciclaje, valorización y aprovechamiento de residuos, similar a como funciona el Eco parque de Barcelona que trata residuos municipales.

Este proyecto es una primera etapa y se enmarca dentro de las directrices del desarrollo sostenible que busca el país. Permite a la empresa en convertirse en empresa líder y pionera en este tema.

8. CONCLUSIONES

- La aplicación de la metodología de metabolismo industrial utilizada en Ecología industrial, permitió de manera ordenada identificar las principales problemáticas en cuanto a gestión de residuos, definir indicadores y priorizar los puntos en que deberían centrarse las propuestas de valorización.
- Se propone la valorización de 7 diferentes tipos de residuos, estos son: Solventes, Residuos Mercuriales, Pilas y Baterías, Aceites Usados, Llantas de Caucho, RAEE, y CDR.
- Se logra con esto una valorización del 80,7 % de los residuos totales recibidos en la empresa y generación de un combustible renovable (CDR) que puede o auto abastecer la empresa cubriendo el 9% del consumo actual o ser aprovechado en otras industrias.
- El valorizar el 80,3% de los residuos recibidos y generar un material que puede generar energía renovable, cumple con los requerimientos para cambiar su figura de empresa de tratamiento de residuos a centro de valorización de residuos o Eco parque. Siendo el primero en Colombia en este tema.
- Se amplía la capacidad de tratamiento y se abre la posibilidad de entrar en nuevos mercados de tipo industrial.
- Entre los costos energéticos de tratamiento y disposición final hay un ahorro de 261.462.062 COP al año (Alrededor de 99.800 euros).
- Al reducir la cantidad de residuos incinerados, Se evitaría la emisión de 73.680 ton CO₂ eq/año.
- Se obtienen 2.250 ton/año de subproductos recuperados para la venta, entre (Metales, solventes recuperados, Aceites recuperados, CDR, Vidrio, plásticos etc).
- Los Indicadores escogidos (Tasa de ahorro en costos energéticos, Tasa de ahorro en disposición final y Tasa de Emisiones de CO₂), muestran un resultado positivo, para el proyecto, debe pensarse este como una primera etapa y la posibilidad de incursionar a las empresas del sector en este proyecto para facilitar así su financiamiento.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia de residus de catalunya. Disponible en la página web: <http://www20.gencat.cat/portal/site/arc/menuitem.d79bdb4ba0c86afd624a1d25b0c0e1a0/?vgnextoid=e1a1397c372d6210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnextchannel=e1a1397c372d6210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnextfmt=default> (Consultado: Abril 4, 2013)
2. Ayres, R.U.; Ayres, L.W. USA (2001). A Handbook of Industrial Ecology. Northampton: Edward Elgar Pub.
3. Bermejo, J. El reciclado de los neumáticos fuera de uso en España. Signus Ecovalor. 2012. Disponible en la página web: <http://www.inese.es/html/files/pdf/amb/ig/R105-102.pdf> (Consultado el 19 de octubre de 2013).
4. Cano, Encarnación; Cerezo, Lidia y Urbina, Marina. Valoración material y energética de neumáticos fuera de uso. Circulo de innovación en materias tecnología aeroespacial y nanotecnología. Universidad Carlos III Madrid. 2008. Disponible en la página web: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/2196/NFUs_Actualizacion.pdf?sequence=7 (Consultado el 19 de octubre de 2013).
5. Castells, Xavier Elías. Reciclaje de Residuos Industriales. Ediciones Díaz Santos. España. 2009
6. Castells, Xavier Elías. Tratamiento de Residuos Hospitalarios. Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible. España. Disponible en la página web: http://www.bvsde.paho.org/cursoa_reas/e/fulltext/Ponencias-ID53.pdf. (Consultado el 2 de noviembre de 2013)
7. Castells, Xavier Elías. Tratamiento y valorización energética de residuos. Ediciones Díaz Santos. 2005. España.
8. Cedaño, Diana Carolina. Valorización energética de residuos como combustibles alternativos en plantas cementeras. Tesis de Máster.. Máster en Seguridad Industrial y Medio Ambiente. Universidad Politecnica de Valencia. 2012. Disponible en la página web: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27246/VALORIZACION%20ENERGETICA%20DE%20RESIDUOS%20COMO%20COMBUSTIBLES%20ALTERNATIVOS%20EN%20PLANTAS%20CEMENTERAS.pdf?sequence=1> (consultado el 16 de octubre de 2013).
9. Centro Coordinador de Basilea. Proyecto Manejo racional de productos con mercurio. 2011. Disponible en la página web: <http://www.ccbasilea-crestocolmo.org.uy/wp-content/uploads/2010/11/Tratamiento-t%C3%A9rmico-para-la-recuperaci%C3%B3n-de-mercurio-Diciembre-2011.pdf> (Consultado el 15 de Octubre de 2013).
10. Cervantes, G. Ecología Industrial. Fundación Carles Pi y Sunyer de estudios autonómicos y locales. Barcelona. 2007
11. Cervantes, G. Industrial Ecology. Universidad Politecnica de Cataluña. 2012. Disponible en la página web: http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/11914/1/58-78%20Cervantes_Ecologia%20ind.pdf (Consultado: Abril 4, 2013)

12. Comisión Europea. BAT – Waste Treatment Industries. 2006. Disponible en la Página Web: eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/wt_bref_0806.pdf (Consultado el 1 de Octubre de 2013)
13. Comisión Nacional del Medio Ambiente Región Metropolitana. Guía para el Control y prevención de la contaminación industrial. Recuperación de Solventes. Santiago. 1999. Disponible en la página web: www.ecomabi.cl/biblioteca/category/32-guias-y-manuales?...263:90 (Consultado el 9 de Octubre de 2013)
14. Comisión Nacional del Medio Ambiente Región Metropolitana. Recuperación Solventes. Guía para el Control y prevención de la contaminación industrial. Santiago. 1999. Disponible en la página web: http://www.respel.cl/ResiduosPeligrosos/documentos_respel/RECUPERACION%20DE%20SOLVENTES%20respel.pdf (Consultado el 9 de Octubre de 2013)
15. Comité Europeo de Normalización. 2013. Disponible en la página web: <http://www.cen.eu/CEN/Sectors/TechnicalCommitteesWorkshops/CENTechnicalCommittees/Pages/Standards.aspx?param=407430&title=CEN/TC+343> (Consultado el 1 de octubre de 2013)
16. CVC. Plan de Gestión Ambiental Regional 2002–2012
17. Diario ADN. Relleno para Residuos Peligrosos Valle del Cauca. 2013. Disponible en la página web: <http://diarioadn.co/cal/mi-ciudad/relleno-para-residuos-peligrosos-para-el-valle-1.60875> (Consultado el 29 de Mayo de 2013)
18. Directiva 2002/96/CE del Parlamento Europeo sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (Directiva RAEE). Disponible en la página web: http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/es-ES/Servicios/Certificacion/Legislacion/Parlamento%20Europeo%20y%20Consejo/L_03720030213es00190023.pdf (Consultado el 11 de Octubre de 2013)
19. E-waste Colombia. Gestión de RAEE en Colombia. 2013. Disponible en la página web: <http://raee.org.co/> (Consultado el 14 de Octubre de 2013)
20. Espíndola, Margarita Y; Fernández, Georgina. Procesos fisicoquímicos para estabilización de residuos peligrosos. Centro Nacional de Prevención de desastres. México. 1995. Disponible en la página web: <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/pdf/spa/doc8196/doc8196.htm> (Consultado el 2 de noviembre de 2013)
21. Gonzales, Juan José.. Viabilidad técnica, económica y medioambiental de los diferentes procesos. CONAMA. 2010. Disponible en la página web: http://www.conama10.es/conama10/download/files/SDs%202010/1335816609_ppt_JJGonzalez.pdf (Consultado el 22 de octubre de 2013)
22. IDEAM. Informe Nacional Generación y Manejo de residuos peligrosos en Colombia. 2011 Disponible en la página web: <http://www.andi.com.co/Archivos/file/Vicepresidencia%20Desarrollo%20Sostenible/2013/InformeNacionalresiduos peligrosos2011.pdf> (Consultado el 1 de Junio de 2013)
23. Leal, José. Ecoeficiencia: marco de análisis , indicadores y experiencias. CEPAL. 2005. Disponible en la página web:

- <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/7/22987/105.pdf> (Consultado el 6 de Junio de 2013)
24. Lowe, E., Warren, J y Moran, S. Discovering Industrial Ecology: An executive briefing and sourcebook. Colombus: Bettelle Press, 1997.
 25. Lowe, E., Moran, S y Holmes, D. The fieldbook for the development of Eco-industrial Parks. 1996. Report for U.S Environmental Protection Agency. Disponible en la página web: <http://infohouse.p2ric.org/ref/10/09932.pdf> (Consultado el 16 de septiembre de 2013)
 26. Manahan Stanley, E. Industrial Ecology Environmental Chemistry and Hazardous Waste. Lewis Publishers of CRC Press. 1999.
 27. Martínez, Javier; Mallo, Marisol; Lucas, Rosario; Alvaréz, Jackeline; Salvarrey, Ana y Gristo, Pablo. Guía para la gestión integral de residuos peligrosos. Centro Coordinador del convenio de Basilea para America Latina y el Caribe. Uruguay. 2005. Disponible en la página web: http://www.ccbasilea-crestocolmo.org.uy/wp-content/uploads/2010/11/gestion_r02-fichas_tematicas.pdf (Consultado e 4 de noviembre de 2013)
 28. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política ambiental para la gestión integral de residuos o desechos peligrosos. 2005.
 29. Ministerio de Minas y Energía. Resolución No. 180947 de Junio 4 de 2010. Colombia. Disponible en la página web: <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/archivosSoporteRevistas/6217.pdf> (Consultado el 20 de noviembre de 2013).
 30. MRT System. Destiladores Batch. 2013. Disponible en la página web: <http://www.mrtsystem.com/products/batch-process-distiller/> (Consultado el 15 de octubre de 2013)
 31. Oficina Catalana de Cambio climático. Guía practica para el calculo de emisiones de gases efecto invernadero. 2012. Disponible en la página web: http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Politiques/Politiques%20catalanes/La%20mitigacio%20del%20canvi%20climatic/Guia%20de%20calcul%20d'emissions%20de%20CO2/120301_Guia%20practica%20calcul%20emissions_rev_ES.pdf (Consultado el 20 de noviembre de 2013)
 32. Rey, Natalia y Gallardo, Antonio. Caracterización de lamparas fluorescentes compactas usadas. Hacia la sustentabilidad: Los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima. 2011. Disponible en la página web: <http://www.redisa.uji.es/artSim2011/CaracterizacionDeResiduosSolidos/Caracterizaci%C3%B3n%20de%20l%C3%A1mparas%20fluorescentes%20compactas%20usadas.pdf> (Consultado el 15 de octubre de 2013)
 33. Roberts, Brian, H. The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: An austrian case study. [*Journal of Cleaner Production*](#). Volume 12, Issues 8–10, October–December 2004, Pages 997–1010.
 34. Vandenbroek international. Tenologias de secado de CDR. 2012. Disponible en la página web: <http://www.vadebspain.com/> (Consultado el 25 de octubre de 2013)

35. Yeşilyur, Z ; Türkdöğ, K; Hande, C y Bulut, G. Recovery of Metals From WEEE, Used Batteries and Plastic Recycling-A Review. Istanbul Technical University 2012. Disponible en la página web:
<http://www.arber.com.tr/imps2012.org/proceedingsebook/Abstract/absfilAbstractSub missionFullContent330.pdf> (Consultado el 23 de octubre de 2013)

10. ANEXOS

Anexo 1. Recepción Total de Residuos en RH SAS 2012

RECEPCIÓN DE RESIDUOS HOSPITALARIOS EN PLANTA (Kg).							
MES	ANATOMOPATOLÓGICOS	BIOSANITARIOS	COMUNES	CORTOPUNZANTES	MATERIAL DE OSTEOSÍNTESIS	INDUSTRIAL	TOTAL
ENERO	31.659	228.832	41.115	5.633	0	19.729	326.968
FEBRERO	33.287	228.311	40.182	5.919	2	35.248	342.949
MARZO	36.740	243.658	44.319	6.081	0	40.677	371.475
ABRIL	32.734	221.640	43.751	5.526	1	38.178	341.830
MAYO	33.352	220.739	42.905	5.733	0	31.663	334.392
JUNIO	34.279	221.459	31.448	5.844	0	47.964	340.994
JULIO	32.433	219.966	26.912	5.720	0	87.609	372.640
AGOSTO	32.720	218.314	27.859	5.704	0	65.228	349.825
SEPTIEMBRE	30.185	205.805	34.109	5.214	0	49.999	325.310
OCTUBRE	32.728	223.142	36.982	5.653	0	63.470	361.975
NOVIEMBRE	31.836	217.063	35.975	5.499	0	47.301	337.673
DICIEMBRE	32.113	218.950	36.287	5.547	0	63.022	355.919
TOTAL	394.065	2.667.879	441.844	68.072	3	590087,32	4.161.950

Anexo 2. Consolidado Flujo de Residuos en RH SAS 2012

CONSOLIDADO MENSUAL AÑO 2012 (Ton)								
MES	RESIDUOS INCINERADOS EN PLANTA	RESIDUOS TERCERIZADO	RESIDUOS COMUNES	RESIDUOS ESTERILIZADOS	ENCAPSULADOS (NO CENIZA)	RESIDUOS DESTRUIDOS	TOTAL	ENTRADA DE RESIDUOS
ENERO	73,3	2,7	41,1	188,2	0	-	305,4	326,2
FEBRERO	66,7	20,0	40,2	245,4	0	-	372,3	340,4
MARZO	66,8	6,0	44,3	259,0	6,7	-	382,8	368,8
ABRIL	32,8	15,6	43,8	243,4	0	-	335,5	340,9
MAYO	31,2	13,5	42,9	243,5	0	-	331,0	362,9
JUNIO	83,2	7,3	31,4	214,7	1,4	-	338,1	340,1
JULIO	107,7	24,8	26,9	251,0	0,0	-	410,3	370,9
AGOSTO	95,1	24,5	27,9	201,6	3,7	-	352,9	348,9
SEPTIEMBRE	88,6	19,8	34,1	232,7	0,3	-	375,6	327,9
OCTUBRE	63,0	26,3	37,0	238,0	1,2	-	365,4	365,0
NOVIEMBRE	73,2	27,7	36,0	258,8	0,7	-	396,3	340,4
DICIEMBRE	87,3	41,3	36,3	205,9	3,5	-	374,2	358,6
TOTAL	869,0	229,5	441,8	2.782,1	17,4	82,1	4.421,9	4.190,9